Poznań, 14.12.2020

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Jakub Flotyński

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

a) Doktor nauk technicznych, dyscyplina: informatyka, specjalność: systemy multimedialne; tytuł rozprawy: *Semantic Modeling of Interactive 3D Content* (rozprawa wyróżniona); Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki; 15.12.2015.

b) Magister inżynier elektroniki i telekomunikacji, specjalność: radiokomunikacja; tytuł pracy: *Wireless Mesh Network Testbed with a Deterministic Medium Access;* Politechnika Poznańska, Wydział Elektroniki i Telekomunikacji, kierunek: Elektronika i Telekomunikacja; 2011.

c) Magister inżynier informatyki, specjalność: sieci komputerowe i systemy rozproszone; tytuł pracy: *Deklaratywny opis procesów biznesowych w systemach zorientowanych na usługi, tworzonych w oparciu o paradygmat REST*; Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki i Zarządzania, kierunek: Informatyka; 2010.

d) Inżynier informatyki, tytuł pracy: *Multimedialny przewodnik miasta Poznania dla urządzeń mobilnych*; Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki i Zarządzania, kierunek: Informatyka; 2009.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

a) Adiunkt, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Instytut Informatyki i Ekonomii Ilościowej (od 2019), Wydział Informatyki i Gospodarki Elektronicznej (do 2019), Katedra Technologii Informacyjnych pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Krzysztofa Walczaka (od 2020), prof. dr. hab. inż. Wojciecha Cellarego (do 2020); 2016 do chwili obecnej.

b) Asystent, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Wydział Informatyki i Gospodarki Elektronicznej, Katedra Technologii Informacyjnych pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Wojciecha Cellarego; 2011-2016.

c) Projektant i programista aplikacji, Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki i Zarządzania, 2008-2011.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Główne osiągnięcie naukowe – monografia i cykl artykułów

Punktację publikacji podano zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 Ustawy

d) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Modele i metody tworzenia i eksploracji środowisk rozszerzonej rzeczywistości (ang. **E**xplorable E**x**tended **R**eality Environments – E-XR)

e) Lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego:

Monografia naukowa wydana przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. A Ustawy:

1) **Flotyński J.**, Knowledge-Based Explorable Extended Reality Environments, Springer International Publishing, 2020, DOI 10.1007/978-3-030-59965-2, Punkty MNiSW: 80, https://www.springer.com/gp/book/9783030599645.

Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych:

Artykuły opublikowane w czasopismach ujętych w wykazie MNiSW z dnia 31 lipca 2019 r.

2) **Flotyński J.**, *Creating Explorable Extended Reality Environments with Semantic Annotations*, Multimedia Tools and Applications, Springer US, 2020, DOI https://doi.org/10.1007/s11042-020-09772-y, **Impact Factor: 2.313 (2019), Punkty MNiSW: 70**.

3) **Flotyński, J. (70%)**, K. Walczak (20%), M. Krzyszkowski (10%), *Composing customized web 3D animations with semantic queries*, in: Graphical Models, vol. 107, January 2020, Elsevier Inc., 2020, pp. Article Number: 101052, DOI 10.1016/j.gmod.2019.101052, **Impact Factor 2019: 1.224, Impact Factor 2019 (%): 0.857, Punkty MNiSW: 70, Punkty MNiSW (%): 49.**

4) Walczak, K. (50%), **J. Flotyński (50%)**, *Inference-based creation of synthetic 3D content with ontologies*, in: Multimedia Tools and Applications, vol. 78, 9, Springer US, 2019, pp. 12607-12638, DOI 10.1007/s11042-018-6788-5, **Impact Factor 2019: 2.313, Impact Factor 2019 (%): 1.157, Punkty MNiSW: 70, Punkty MNiSW (%): 35**.

5) Trellet, M., Férey, N., **Flotyński, J. (15%)**, Baaden, M., Bourdot, P., *Semantics for an Integrative and Immersive Pipeline Combining Visualization and Analysis of Molecular Data*, in: Journal of Integrative Bioinformatics, vol. 15 (2), issue Special Issue: From Virtual Reality to Immersive Analytics, De Gruyter, 2018, pp. 1-19, **Punkty MNiSW: 40, Punkty MNiSW (%): 6.**

6) **Flotyński, J. (70%)**, K. Walczak (30%), *Ontology-Based Representation and Modelling of Synthetic 3D Content: A State-of-the-Art Review*, in: Computer Graphics Forum, vol. 35, issue 8, The Eurographics Association and John Wiley & Sons Ltd., 2017, pp. 329–353, DOI 10.1111/cgf.13083, **Impact Factor 2019: 2.116, Impact Factor 2019 (%): 1.481, Punkty MNiSW: 100, Punkty MNiSW (%): 70**.

7) **Flotyński, J. (60%)**, K. Walczak (40%), *Customization of 3D content with semantic meta-scenes*, in: Graphical Models, vol. 88, issue November 2016, Elsevier, 2016, pp. 23-39, DOI http://dx.doi.org/10.1016/j.gmod.2016.07.001, **Impact Factor 2019: 1.224, Impact Factor 2019 (%): 0.734, Punkty MNiSW: 70, Punkty MNiSW (%): 42**.

Artykuły w recenzowanych materiałach międzynarodowych konferencji naukowych ujętych w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy

8) Walczak, K. (20%), **Flotyński, J. (20%)**, Strugała, D. (5%), Strykowski, S. (5%), Sobociński, P. (5%), Gałązkiewicz, A. (5%), Wojciechowski, R. (10%), Górski, F. (10%), Bun, P. (10%), Zawadzki, P. (5%), Wielgus, M. (5%), *Semantic Modeling of Virtual Reality Training Scenarios*, in: Virtual Reality and Augmented Reality 17th EuroVR International Conference, EuroVR 2020, Valencia, Spain, November 25-27, 2020, Proceedings; in: Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2020, **Punkty MNiSW: 20, Punkty MNiSW (%): 4.**

9) **Flotyński, J. (60%)**, M. Krzyszkowski (10%), K. Walczak (30%), *Semantic Composition of 3D Content Behavior for Explorable Virtual Reality Applications*, in: Virtual Reality and Augmented Reality 14th EuroVR International Conference, EuroVR 2017, Laval, France, December 12–14, 2017, Proceedings; in: Lecture Notes in Computer Science, ed. Barbic, J., M. D'Cruz, M E. Latoschik, M. Slater, P. Bourdot, Springer, 2017, pp. 3-23, DOI 10.1007/978-3-319-72323-5_1, **Punkty MNiSW: 20, Punkty MNiSW (%): 12**.

Sumaryczny współczynnik wpływu IF (2019): **9.190**, uwzględniając udział procentowy: **6.542**.

Sumaryczna liczba punktów MNiSW wszystkich publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: **540,** uwzględniając udział procentowy: **368**.

Sumaryczna liczba publikacji, których wnioskodawca jest jedynym autorem lub pierwszym współautorem: **6** na 9 publikacji w cyklu.

Omówienie osiągnięcia naukowego

Referencje odnoszące się do publikacji należących do głównego osiągnięcia wymienionego w punkcie 4 wyróżniono pogrubioną czcionką.

I. Wstęp

Moim głównym osiągnięciem naukowym są *modele i metody tworzenia i eksploracji środowisk rozszerzonej rzeczywistości*, wspólnie określane jako ***podejście E-XR*** (ang. **E**xplorable E**x**tended **R**eality Environments). W kolejnych punktach przedstawiam tematykę mojej pracy naukowej, problem badawczy oraz koncepcję rozwiązania, główne elementy, implementację, przykłady zastosowań i wyniki badań podejścia E-XR, powołując się na monografię naukową oraz artykuły wchodzące w skład cyklu, wymienione w punkcie 4e).

W ostatnich latach obserwujemy szybki rozwój nowych technologii informatycznych, w tym *wirtualnej rzeczywistości* (ang. virtual reality – VR) i *wzbogaconej rzeczywistości* (ang. augmented reality – AR), urządzeń i aplikacji mobilnych, sieci bezprzewodowych i sztucznej inteligencji. Powszechnie uważa się, że są to najszybciej rozwijające się technologie, które istotnie zmienią życie ludzi w ciągu następnej dekady (Bernard Marr, 2019; Ashley Watters, 2020). Podczas gdy VR jest prezentacją świata składającego się wyłącznie z obiektów wirtualnych (zwykle interaktywnych), to AR jest prezentacją świata rzeczywistego z nałożonymi obiektami wirtualnymi. VR i AR umożliwiają realistyczną prezentację i interakcję z danymi i obiektami w złożonych trójwymiarowych środowiskach stosowanych w wielu dziedzinach, takich jak edukacja, szkolenia, medycyna, projektowanie, prototypowanie, marketing (w tym merchandising) i inżynieria.

Specyfika VR i AR sprzyja wykorzystaniu obu technologii w różnych zastosowaniach. Na przykład, o ile przewodnik po produktach działający w trybie VR jest odpowiedni dla celów marketingowych, aby zachęcić potencjalnych klientów do zakupu nowych produktów, o tyle przewodnik serwisowy AR może instruować użytkowników jak naprawić prawdziwą maszynę przedstawiając kontekstowe, animowane wskazówki dotyczące aktualnego widoku urządzenia. Proporcje rzeczywistości i wirtualności w trójwymiarowych scenach mogą być różne w różnych systemach, co doprowadziło do powstania terminu *mieszana rzeczywistość* (ang. mixed reality – MR) (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1995). Mieszana rzeczywistość obejmuje całe spektrum zawarte między scenami zdominowanymi przez obiekty rzeczywiste z nielicznymi obiektami wirtualnymi oraz scenami, w których proporcje obiektów rzeczywistych i wirtualnych są odwrotne. Opracowano wiele wspólnych technologii do prezentacji i interakcji z VR, AR i MR, takich jak urządzenia nagłowne (ang. head-mounted displays – HMD), kontrolery, urządzenia dotykowe i systemy śledzenia ruchu. Z czasem technologie VR, AR i MR i pokrewne zaczęto określać jednym, bardziej ogólnym terminem – *rozszerzona rzeczywistość* (ang. extended reality – XR) (J. P. Gownder, C. Voce, M. Mai, D. Lynch, 2016).

Oprócz urządzeń, nieodłącznymi elementami praktycznie każdego środowiska XR są użytkownicy i interaktywna treść trójwymiarowa (3D). Użytkowników i treść 3D w XR charakteryzuje zazwyczaj zachowanie, które może być traktowane jak autonomiczne akcje (np. biegający awatar i fruwający ptak) oraz interakcje między elementami XR (np. piłka wpadająca do bramki, serwisant naprawiający urządzenie i sprzedawca demonstrujący produkty klientom). Zachowanie może być wyrażone przez

zmiany stanów środowiska XR, w szczególności przez animacje 3D i modyfikacje atrybutów środowiska, jak również tworzenie, manipulację i usuwanie obiektów w scenach 3D.

Różnorodność dostępnych systemów przechwytywania i śledzenia ruchu i gestów, jak również śledzenia urządzeń HMD i interaktywnych kontrolerów, oferuje wysoki potencjał modelowania realistycznego zachowania oraz monitorowania akcji i interakcji użytkowników i obiektów w środowiskach XR. Potencjał ten jest dodatkowo wzmacniany przez coraz szersze upowszechnianie się środowisk XR w wielu dziedzinach zastosowań. Otwiera to nowe możliwości i wyzwania dla pozyskiwania wiedzy o zachowaniu użytkowników i obiektów XR. W moich publikacjach termin *wiedza* oznacza informację o obiektach i użytkownikach środowisk XR, ich cechach (rozumianych jako właściwości niezależne od czasu) oraz zachowaniu (akcjach i interakcjach), która wyraża charakterystykę, doświadczenia, umiejętności, zainteresowania oraz preferencje użytkowników, jak również charakterystykę obiektów tych środowisk. Wiedza ma znaczenie w praktycznych zastosowaniach i jest przekazywana innym użytkownikom środowisk XR. *Eksploracja wiedzy* oznacza natomiast pozyskiwanie nowej wiedzy nt. środowisk XR, ich użytkowników i obiektów za pomocą automatycznego wnioskowania oraz formalnych zapytań. Automatyczne wnioskowanie pozwala na odkrycie wiedzy niejawnej (wyrażonej nie wprost) na podstawie wiedzy jawnej (wyrażonej wprost). Z kolei formalne zapytania umożliwiają zdobycie wiedzy o wybranych cechach i zachowaniu środowisk XR, a także odfiltrowanie innej wiedzy, która nie jest przedmiotem zapytania.

Zdobyta wiedza może służyć do monitorowania, analizowania, badania i sterowania środowiskami XR w wielu dziedzinach i zastosowaniach. Badania behawioralne mogą być szczególnie użyteczne, gdy zdobytą wiedzę opisuje się za pomocą terminologii zrozumiałej dla specjalistów dziedzinowych, którzy są głównymi użytkownikami danego środowiska XR. Na przykład, informacje zebrane podczas operacji chirurgicznej mogą być wykorzystane do rozważania możliwych sytuacji i uczenia studentów. Informacje zebrane w trakcie procesu projektowania mogą umożliwić analizę projektu na różnych jego etapach, w tym udział poszczególnych projektantów i zgodność z pierwotnymi wymaganiami. Informacje o działaniach klientów w wirtualnych sklepach mogą pomóc w poznaniu ich zainteresowań i preferencji dla celów marketingu (w tym merchandisingu). Może to ułatwić aranżację prawdziwych sklepów i przygotowanie spersonalizowanych ofert. Informacje o stanach i zachowaniu urządzeń mogą posłużyć do analizy ich działania oraz identyfikacji ewentualnych usterek. Informacje o wirtualnych wycieczkach z przewodnikiem mogą być wykorzystane do wybrania najbardziej interesujących i zwrócenia uwagi klientów na programy turystyczne.

II. Przegląd stanu wiedzy w zakresie metod i narzędzi tworzenia środowisk XR

Wymienione powyżej przykłady wskazują na znaczny potencjał eksploracji zachowania użytkowników i obiektów w środowiskach XR. Potencjał ten może być w pełni wykorzystany w przypadku uwzględnienia przeszłego, obecnego jak i możliwego przyszłego zachowania użytkowników i obiektów, wraz z niezbędnymi warunkami i potencjalnymi efektami takiego zachowania. Dostępnych jest szereg technologii do tworzenia środowisk XR, w tym formaty 3D, np. VRML i X3D, języki programowania, np. C# i Java, biblioteki, np. Direct3D i Java3D, narzędzia do modelowania 3D, np. Blender i 3ds Max, narzędzia do modelowania animacji, np. Motion Builder i Cinema 4D, oraz silniki gier, np. Unity i Unreal. Istniejące rozwiązania zostały jednak zaprojektowane w celu umożliwienia modelowania i programowania graficznych środowisk 3D, a nie w celu modelowania i eksploracji wiedzy, które są

niezbędne do monitorowania, analizowania, badania i kontrolowania zachowania użytkowników i obiektów XR. Ponadto, choć istnieją metody sztucznej inteligencji umożliwiające modelowanie i eksplorację wiedzy w dowolnych dziedzinach aplikacyjnych, np. programowanie w logice, logiki opisowe i semantyczny internet, do tej pory skala ich użycia w XR była bardzo ograniczona. Dostępne podejścia do tworzenia środowisk XR opartych na wiedzy koncentrują się na reprezentacji i modelowaniu statycznych (niezależnych od czasu) treści 3D z wykorzystaniem technologii semantycznego internetu. Dostępne rozwiązania nie umożliwiają reprezentacji treści 3D zmiennych w czasie ani reprezentacji treści 3D za pomocą terminologii specyficznej dla dowolnej dziedziny aplikacyjnej. Dostępne rozwiązania nie umożliwiają zatem tworzenia środowisk XR o eksplorowalnym zachowaniu i cechach opisywanych w sposób specyficzny dla danej dziedziny aplikacyjnej. Dotychczasowe podejścia nie oferują w szczególności cech podsumowanych w Tabeli 1 i szczegółowo omówionych w kolejnych akapitach.

Tabela 1. Podsumowanie podejść do tworzenia XR w kontekście eksploracji wiedzy.

Podejście \ Kryteria	Terminologia dziedzinowa	Deklaratywność	Kompozycja XR na żądanie	Reprezentacja zachowania XR	Eksploracja wiedzy
Formaty 3D	-	✓	-	-	-
Programowanie obiektowe	✓	-	-	-	-
Narzędzia modelowania 3D	-	✓	-	-	-
Silniki gier	✓	-	-	-	-
Technologie reprezentacji wiedzy	✓	✓	-	-	✓
Semantyczne treści 3D	✓	✓	-	-	+/-

Wykorzystanie wiedzy dziedzinowej w środowiskach XR

Dostępne podejścia do tworzenia środowisk XR wymagają znajomości pojęć technicznych specyficznych dla treści 3D i technik animacji lub są ograniczone do określonej aplikacji lub dziedziny bez możliwości ich użycia w innych aplikacjach i dziedzinach. Dostępne rozwiązania nie umożliwiają elastycznego, stosowalnego w różnych dziedzinach połączenia między właściwościami użytkowników i obiektów XR oraz terminologią dziedzinową.

Chociaż obiektowe języki programowania, które są używane w wielu silnikach gier, umożliwiają tworzenie treści 3D za pomocą terminologii specyficznej dla danej dziedziny przy użyciu klas i właściwości, języki te nie umożliwiają eksploracji wiedzy bazującej na automatycznym wnioskowaniu i formalnych zapytaniach.

W porównaniu z obiektowymi językami programowania, deklaratywne języki programowania, logiki deskrypcyjne i semantyczny internet umożliwiają reprezentację wiedzy dziedzinowej, a ich implementacje wykorzystują powszechnie uznane algorytmy wnioskowania oraz algorytmy i języki zapytań. Do tej pory jednak wykorzystanie tego typu technologii ograniczało się do reprezentacji statycznych, niezależnych od czasu obiektów XR za pomocą ontologii, bez możliwości reprezentacji zachowania użytkowników i obiektów XR. Szczegółowe omówienie rozwiązań w tej dziedzinie przedstawiono w (**Flotyński, J., & Walczak, K., 2017b**).

Rozwój środowisk XR reprezentowanych za pomocą terminologii dziedzinowej otwiera nowe możliwości tworzenia i wykorzystywania XR przez ekspertów dziedzinowych, którzy rzadko mają zaawansowane umiejętności techniczne w zakresie programowania i modelowania 3D. Ponadto środowiska XR oparte na wiedzy dziedzinowej mogą sprzyjać stosowaniu systemów analitycznych, które nie są w stanie samodzielnie wydobyć takiej wiedzy z XR. Na przykład specjaliści od marketingu mogliby wykorzystywać narzędzia analityczne do badania zachowania klientów na podstawie informacji dostarczanych przez sklepy XR.

Deklaratywna specyfikacja zachowania środowisk XR

Dostępne rozwiązania wykorzystują do modelowania zachowania XR pojęcia techniczne (np. klatki kluczowe i interpolację) lub wymagają imperatywnego programowania instrukcji, które należy wykonać, aby osiągnąć pożądane cele w zakresie logiki i animacji obiektów opisujących i wyrażających zachowanie. Oba rozwiązania są ściśle związane z informatyką, w tym z treścią 3D i programowaniem.

Formaty 3D, takie jak VRML, X3D i XML3D, umożliwiają deklaratywną specyfikację pożądanych efektów i animacji 3D, w przeciwieństwie do imperatywnych języków programowania i bibliotek, które umożliwiają specyfikację kroków przetwarzania treści. Deklaratywne formaty wykorzystują jednak wyłącznie koncepcje specyficzne dla treści i animacji 3D, i nie umożliwiają reprezentacji wiedzy dziedzinowej. Problem ten dotyczy również narzędzi do modelowania 3D i silników gier, które wykorzystują formaty 3D, a także umożliwiają modelowanie animacji za pomocą diagramów stanów. W przeciwieństwie do formatów 3D, dotychczasowe techniki reprezentacji wiedzy i podejścia do semantycznej reprezentacji treści 3D umożliwiają deklaratywne określanie wymagań i celów, dzięki czemu potencjalnie mogą zostać wykorzystane w rozwiązaniach umożliwiających tworzenie eksplorowalnych środowisk XR.

Deklaratywna składnia formatów 3D i technik reprezentacji wiedzy, w tym programowania w logice, logik deskrypcyjnych i semantycznego internetu, jest stosunkowo prosta w porównaniu ze składnią imperatywnych języków programowania. Prostsza składania mogłaby ułatwić rozwój wizualnych narzędzi modelowania środowisk XR przez specjalistów dziedzinowych niebędących informatykami. Na przykład, podstawowe animacje tancerzy można by komponować w złożone sekwencje w deklaratywny lub wizualny sposób za pomocą opartego na wiedzy edytora zachowania obiektów XR.

Kompozycja środowisk XR bazująca na zapytaniach

Dostępne rozwiązania nie pozwalają na kompozycję środowisk XR na żądanie użytkowników lub usług. Narzędzia modelowania 3D i silniki gier wykorzystujące formaty 3D i języki programowania zakładają tworzenie środowisk XR w ich ostatecznej formie, bez wsparcia dla adaptacji środowisk przez nie-informatyków oraz usługi.

Kompozycja na żądanie może być szczególnie przydatna w rozproszonych, internetowych systemach XR wykorzystywanych przez wielu użytkowników. Do takich środowisk mają dostęp różni użytkownicy o różnej wiedzy, umiejętnościach, oczekiwaniach, zainteresowaniach i preferencjach, którzy chcą używać środowisk XR do różnych celów. Na przykład różne przewodniki XR, prezentujące różne funkcje urządzeń, mogą być tworzone na żądanie dla różnych grup docelowych odbiorców – klientów, serwisantów i sprzedawców oraz dla różnych platform docelowych.

Reprezentacja przeszłego, obecnego i potencjalnego przyszłego zachowania użytkowników i obiektów w środowiskach XR

Dostępne rozwiązania nie umożliwiają kompleksowej reprezentacji zachowania środowisk XR opartej na wiedzy, obejmującej przeszłe, obecne, a także możliwe przyszłe akcje i interakcje użytkowników i obiektów. Kompleksowa reprezentacja zachowania środowisk XR mogłaby obejmować logi zarejestrowanego zachowania, a także specyfikację potencjalnego zachowania. W związku z tym środowiska XR mogłyby być eksplorowane w ramach symulacji bez konieczności ich uruchamiania. Umożliwiłoby to analizę potencjalnego zachowania środowisk przechowywanych we współdzielonych repozytoriach. Przykładowo studenci medycyny mogliby obserwować i uczyć się kolejnych etapów wirtualnej operacji chirurgicznej, a także pytać o możliwe błędy na poszczególnych jej etapach.

Eksploracja wiedzy w środowiskach XR

Dostępne podejścia do tworzenia środowisk XR oparte na reprezentacji wiedzy nie pozwalają na eksplorację czasowych właściwości użytkowników i obiektów za pomocą wnioskowania i zapytań dotyczących różnych momentów i przedziałów czasu. Znaczniki metadanych w dostępnych formatach 3D nie umożliwiają formalnego opisu klas, właściwości, obiektów i relacji między nimi. Nieustrukturyzowane lub częściowo ustrukturyzowane metadane oferowane przez niektóre formaty 3D (np. X3D) nie nadają się do precyzyjnego rozumowania oraz złożonych i precyzyjnych zapytań.

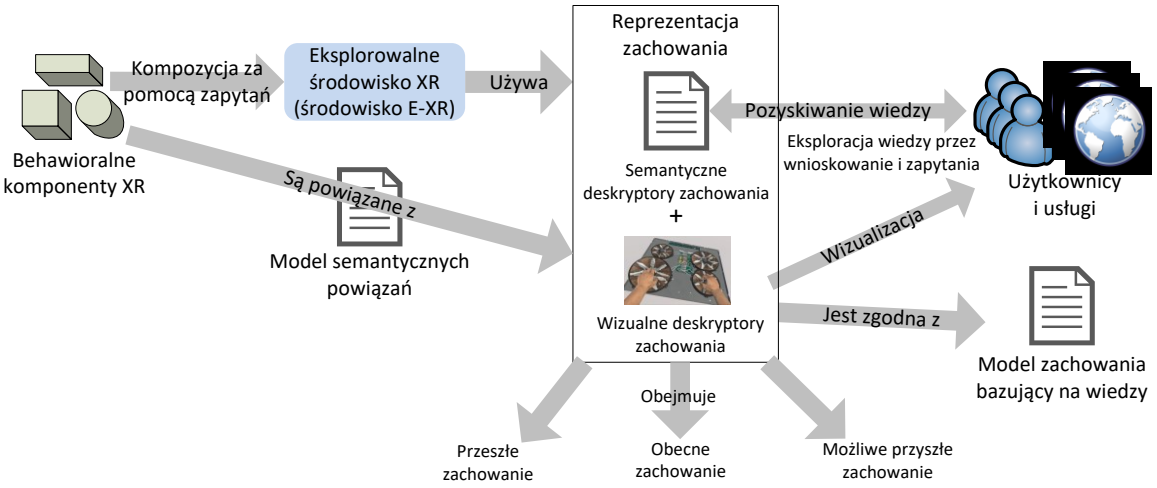
Ponadto języki programowania obiektowego, które mogą reprezentować użytkowników i obiekty XR za pomocą terminologii dziedzinowej, są przeznaczone do programowania przepływu sterowania i nie nadają się do reprezentacji i eksploracji wiedzy. Jest to istotna różnica w porównaniu z podejściami opartymi na logice. Programowanie obiektowe lub proceduralnie wymaga zaimplementowania specyficznych funkcji do eksploracji wiedzy. Takie rozwiązania nie są ogólne i wymagają zaawansowanych umiejętności technicznych, co utrudnia wkład ekspertów dziedzinowych w tworzenie środowisk XR. Ponadto funkcje odpowiedzialne za eksplorację wiedzy powinny być niezależne od przetwarzanych baz wiedzy i oddzielone od pierwotnych funkcji środowiska XR. Może to być czasochłonne i kosztowne, zwłaszcza jeśli środowisko rozszerzają programiści, którzy go nie opracowali w pierwotnej wersji.

III. Koncepcja podejścia E-XR

Celem prowadzonych przeze mnie badań jest opracowanie podejścia do tworzenia i eksploracji środowisk XR (ang. **E**xplorable E**x**tended **R**eality Environments – E-XR), rozwiązującego problemy przedstawione w punkcie II. Koncepcja podejścia E-XR została najszerzej opisana w monografii naukowej (**Flotyński, 2020**). Koncepcję działania eksplorowalnych środowisk XR (określanych w skrócie ***środowiskami E-XR***) zaprezentowano na Rysunku 1. Środowisko E-XR to system, w którym cechy oraz zachowanie użytkowników i obiektów 3D, w tym ich akcje i interakcje, są reprezentowane za pomocą wiedzy dziedzinowej i wizualnych deskryptorów. Cechy i zachowanie środowiska E-XR mogą być przedmiotem eksploracji za pomocą automatycznego wnioskowania i formalnych zapytań konstruowanych przez użytkowników XR i usługi zewnętrzne.

Z jednej strony, reprezentacja zachowania użytkowników i obiektów obejmuje przeszłe, obecne i możliwe przyszłe stany środowisk XR. Przeszłe i obecne zachowania są rejestrowane w postaci logów podczas sesji korzystania ze środowiska, co pozwala użytkownikom na analizę zaistniałych akcji i

interakcji. Potencjalne przyszłe zachowania, które mogą, ale nie muszą wystąpić, są uwzględniane w procesie kompozycji środowiska XR z niezależnych, behawioralnych komponentów wielokrotnego użytku. Proces ten jest oparty na zapytaniach, które w sposób deklaratywny określają pożądaną logikę docelowego środowiska XR, wykorzystując wiedzę specyficzną dla danej dziedziny aplikacyjnej. Ponieważ funkcje behawioralnych komponentów XR są opisane z wykorzystaniem technik reprezentacji wiedzy, możliwe jest automatyczne wnioskowanie o potencjalnym zachowaniu użytkowników i obiektów w XR. Podobnie jak eksploracja, kompozycja środowisk XR jest wykonywana na żądanie w oparciu o zapytania skonstruowane przez użytkowników lub usługi odpowiedzialne za tworzenie XR. Podejście E-XR umożliwia użycie wspólnej terminologii dla przeszłego, obecnego i możliwego przyszłego zachowania użytkowników i obiektów XR. W szczególności użyta może być terminologia dowolnej dziedziny aplikacyjnej. Stąd zarówno tworzenie środowisk XR, jak i ich eksploracja są osiągalne dla ekspertów z danej dziedziny.



Rysunek 1. Koncepcja działania eksplorowalnych środowisk rozszerzonej rzeczywistości.

Z drugiej strony, eksploracja zachowania użytkowników i obiektów obejmuje zdobywanie wiedzy o stanach środowiska w różnych momentach i przedziałach czasu oraz wizualizację tych stanów w odniesieniu do tworzonych, modyfikowanych i niszczonych obiektów w scenach 3D środowiska. Pozwala to analitykom na zrozumienie działania danego środowiska XR, w tym umiejętności, doświadczenia, zainteresowań i preferencji jego użytkowników oraz charakterystyki obiektów 3D w ujęciu formalnym oraz wizualnym. Reprezentacja zachowania użytkowników i obiektów może być postrzegana jako czterowymiarowa (4D) w przeciwieństwie do reprezentacji właściwości niezależnych od czasu (3D). W związku z tym, podejście E-XR może być również stosowane do projektowania treści 3D niezależnych od czasu, które stanowią szczególny (ograniczony) przypadek treści zależnych od czasu.

Podejście E-XR wykorzystuje techniki reprezentacji wiedzy i proceduralne oraz obiektowe języki programowania. Umożliwia to implementację podejścia za pomocą dostępnych zintegrowanych środowisk programowania (np. MS Visual Studio i Unity). Do reprezentacji wiedzy wykorzystano podejścia zgodne z logiką predykatów pierwszego rzędu: programowanie w logice, logiki deskrypcyjne i podejście semantycznego internetu. W szczególności wykorzystano język programowania Prolog oraz technologie semantyczne – Resource Description Framework (RDF) (W3C, 2014a), Resource Description Framework Schema (RDFS) (W3C, 2014b) i Web Ontology Language (OWL) (W3C, 2012).

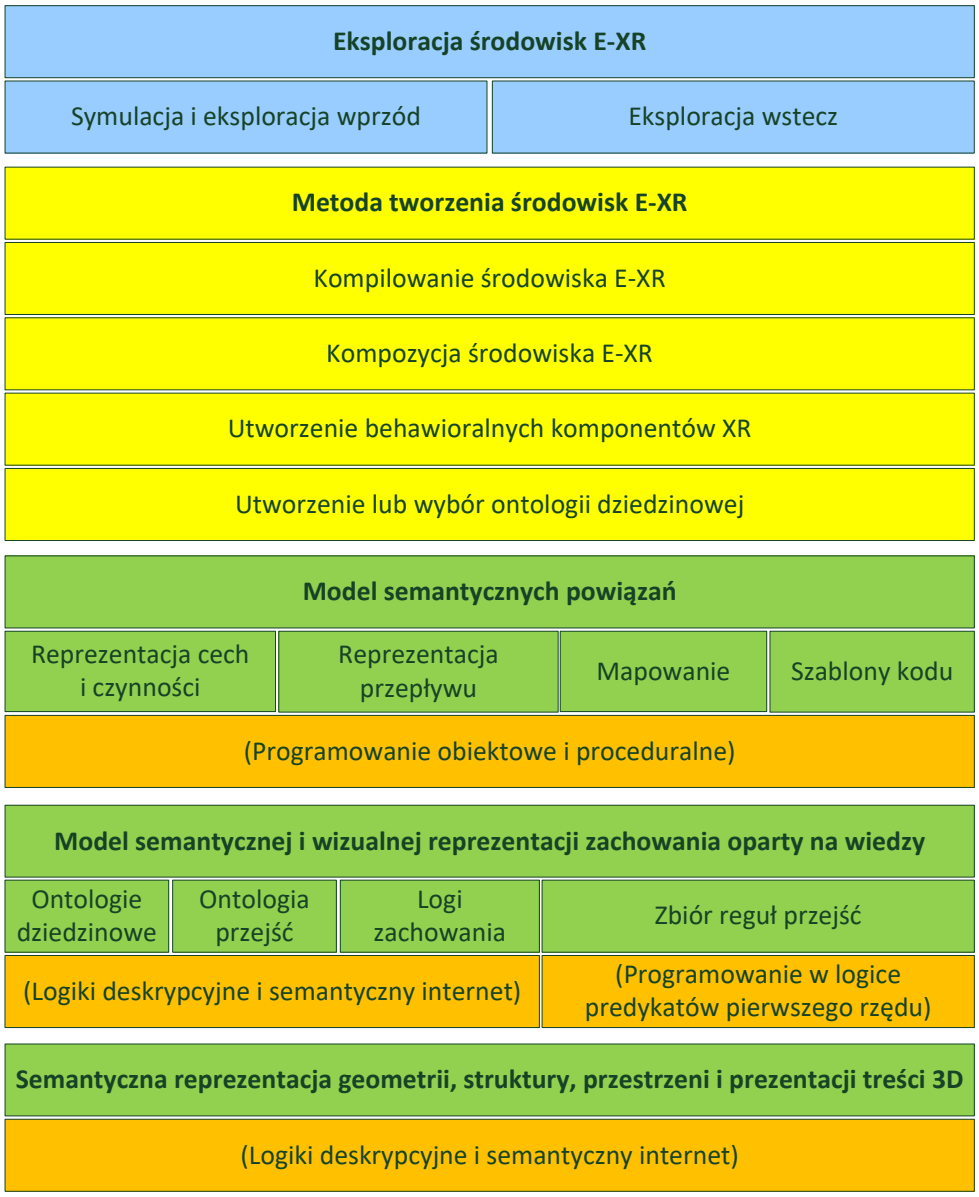
Prolog umożliwia tworzenie reguł, które mogą wyrażać potencjalne zachowanie użytkowników i obiektów w środowiskach E-XR. Z kolei logiki deskrypcyjne oraz technologie semantycznego internetu oferują dobrze zbadane profile obliczeniowe, odpowiednie do reprezentowania zarejestrowanego zachowania użytkowników i obiektów w środowiskach E-XR.

W swoich badaniach przyjąłem następującą tezę:

Podejście E-XR umożliwia efektywne tworzenie i wykorzystanie eksplorowalnych środowisk XR opartych na wiedzy dziedzinowej.

IV. Opis podejścia E-XR

Elementy podejścia E-XR przedstawiono w formie stosu na Rysunku 2. Elementy położone wyżej wykorzystują elementy położone niżej na stosie. Kolorem pomarańczowym w nawiasach zaznaczono istniejące rozwiązania. Pozostałe elementy stosu stanowią osiągnięcia wnioskodawcy.



Rysunek 2. Architektura podejścia E-XR.

Podejście E-XR składa się z następujących połączonych ze sobą elementów:

1) *Semantyczna reprezentacja geometrii, struktury, przestrzeni i prezentacji treści 3D*, która ma postać ontologii. Ontologia ta może być generowana automatycznie na podstawie formatów 3D (Web3D, 2020; Flotyński et al., 2019a, 2020b). Dzięki automatycznej transformacji ontologia obejmuje szereg elementów aktualnie wykorzystywanych w najnowszych rozwiązaniach służących do reprezentacji treści 3D. Ontologia 3D umożliwia tworzenie semantycznych modeli i scen 3D mających postać semantycznych baz wiedzy. Semantyczne modele i sceny 3D mogą być przedmiotem semantycznych zapytań (np. sformułowanych w języku SPARQL (W3C, 2013; Brutzman, D., Flotyński, J., 2020)).

2) *Model semantycznej i wizualnej reprezentacji zachowania oparty na wiedzy*, który umożliwia kompozycję zachowania środowisk XR i rejestrowanie zachowania demonstrowanego przez środowiska podczas ich działania. Reprezentacja zachowania obejmuje autonomiczne akcje oraz interakcje użytkowników i obiektów XR. Pożądane zachowanie, które jest deklaratywnie określane podczas kompozycji środowiska XR, obejmuje akcje i interakcje, które mogą wystąpić w środowisku. Z kolei w trakcie działania skomponowanego środowiska, akcje i interakcje są rejestrowane w postaci logów zachowania i wizualnych deskryptorów (**Flotyński J., 2020b**). W ten sposób specyfikacja zachowania środowisk XR, jak również logi zachowania środowisk mogą być przedmiotem eksploracji opartej na wiedzy, podczas gdy logi zachowania mogą być dodatkowo wizualizowane. Model semantycznej i wizualnej reprezentacji zachowania składa się z dwóch głównych elementów opartych na różnych technikach reprezentacji wiedzy, które różnią się siłą ekspresji:

   a) *Ontologii* stanowiących podstawę reprezentacji zachowania środowisk E-XR. Ontologie te obejmują klasy i właściwości wyrażone za pomocą logik deskrypcyjnych. Opracowano dwa podejścia do ontologicznej reprezentacji zachowania środowisk XR. Pierwsze podejście przedstawione w (**Flotyński J., 2020**) umożliwia reprezentację dowolnych akcji i interakcji w dowolnych dziedzinach zastosowań i obejmuje następujące ontologie:

      i. *Ontologie dziedzinowe*, które są formalną specyfikacją konceptualizacji dziedzin aplikacyjnych, dla których są tworzone środowiska E-XR (Flotyński, J., & Sobociński, P., 2018c).

      ii. *Ontologię przejść*, która określa encje (klasy i właściwości) niezależne od konkretnej dziedziny, które umożliwiają czasową reprezentację dowolnych obiektów i właściwości dziedzinowych oraz relacji między nimi (Flotyński, J., Nowak, A., & Walczak, K., 2018b). Ontologia przejść określa również encje dla wizualnej reprezentacji zachowania środowisk XR.

      iii. *Specyfikację semantycznych logów zachowania*, które reprezentują i wizualizują zachowanie użytkowników i obiektów występujące podczas sesji korzystania z środowisk E-XR (Flotyński et al., 2019b).

      Drugie podejście przedstawione w (**Walczak, K., Flotyński, J. et al., 2020**) zostało zaprojektowane dla systemów treningowych i bazuje na ontologii specyfikującej scenariusze

szkoleniowe jako sekwencje kroków, czynności i akcji, w trakcie wykonywania których kursanci mogą popełniać błędy oraz napotykać problemy ze strony sprzętu, którym operują.

b) *Zbioru reguł przejść* umożliwiającego budowanie złożonych czasowych relacji między obiektami i właściwościami specyfikowanymi na podstawie encji określonych w ontologii przejść, w tym zdarzeń, stanów i relacji między nimi. Zbiór reguł przejść umożliwia przejścia między zdarzeniami i stanami, które są niezbędne do opisania dowolnie złożonego zachowania środowisk XR. Zbiór reguł przejść został wyspecyfikowany za pomocą programowania logicznego w języku Prolog (Flotyński, J., & Walczak, K., 2017a).

3) *Model semantycznych powiązań*, który umożliwia łączenie imperatywnej implementacji behawioralnych komponentów XR, składających się z klas i metod, z opartą na wiedzy reprezentacją zachowania środowiska XR zgodną z *modelem semantycznej i wizualnej reprezentacji zachowania*. Model semantycznych powiązań scala imperatywne i deklaratywne reprezentacje zachowania środowiska. Umożliwia to kompozycję zachowania środowisk XR za pomocą deklaratywnych semantycznych zapytań, które powodują powiązanie ze sobą uniwersalnych behawioralnych komponentów XR wielokrotnego użytku zaimplementowanych imperatywnie za pomocą klas i metod. Ponadto w trakcie działania skomponowanego środowiska XR, metody klas użytych komponentów generują wizualne semantyczne logi zachowania, które mogą być prezentowane oraz semantycznie eksplorowane za pomocą wnioskowania i zapytań. Celem modelu semantycznych powiązań jest umożliwienie reprezentacji i eksploracji wiedzy przy zachowaniu możliwości tworzenia środowisk XR z wykorzystaniem programowania obiektowego i proceduralnego, co jest obecnie dominującym rozwiązaniem. Model semantycznych powiązań składa się z następujących elementów:

a) *Reprezentacji cech i czynności użytkowników i obiektów XR*, która umożliwia tworzenie adnotacji imperatywnych obiektywnych i proceduralnych implementacji komponentów XR, uwzględniając ich klasy, metody oraz zmienne (Flotyński, J., & Nowak, A., 2019c). Reprezentacja jest zapisana w formie ontologii.

b) *Reprezentacji przepływu sterowania*, która umożliwia kompozycję behawioralnych komponentów XR w złożone środowiska. Reprezentacja przepływu sterowania deklaratywnie opisuje proces wykonywania metod klas komponentów wykorzystując zdarzenia, stany i przejścia.

c) *Mapowania*, które kojarzy obiektowe i proceduralne implementacje behawioralnych komponentów XR z towarzyszącą im wiedzą dziedzinową reprezentowaną przez *model semantycznej i wizualnej reprezentacji zachowania.* Mapowanie reprezentuje klasy w imperatywnych implementacjach behawioralnych komponentów XR oraz etapy realizacji metod tych klas za pomocą zdarzeń i właściwości specyficznych dla danej dziedziny aplikacyjnej środowiska XR.

d) *Szablonów kodu behawioralnych komponentów XR*, które są zaimplementowane za pomocą języków imperatywnych i powiązane ze zdarzeniami, stanami i przejściami opisywanymi przez *reprezentację przepływu sterowania*. Umożliwia to opartą na wiedzy kompozycję środowisk E-XR.

4) *Metoda tworzenia środowisk E-XR*, która wykorzystuje wyżej wymienione modele danych, mapowanie oraz szablony kodu. Metoda polega na tworzeniu i wielokrotnym wykorzystaniu behawioralnych komponentów XR, umożliwiając ekspertom dziedzinowym komponowanie i eksplorowanie różnorodnych środowisk XR w swojej dziedzinie. Metoda składa się z następujących etapów wykonywanych przez użytkowników posiadających różną wiedzę i umiejętności w zakresie modelowania 3D i modelowania wiedzy:

   a) *Utworzenia lub wyboru ontologii dziedzinowej* składającej się z encji (klas i właściwości) oraz relacji między nimi, specyficznych dla określonej dziedziny aplikacyjnej. Wybór lub utworzenie ontologii dziedzinowych jest zadaniem ekspertów w danej dziedzinie.

   b) *Utworzenia behawioralnych komponentów XR* składających się z geometrii, struktury, właściwości przestrzennych i prezentacyjnych, animacji, skryptów, a także baz wiedzy i przejść opisujących semantykę dziedzinową komponentów i ich zachowanie (**Flotyński, J., Walczak, K., & Krzyszkowski, M., 2020**). Jest to zadanie grafików i programistów.

   c) *Komponowania środowiska E-XR* na podstawie zapytań, tworząc implementację środowiska E-XR złożonego z behawioralnych komponentów XR. Różne zapytania mogą wyrażać różne wymagania użytkowników docelowych w zakresie cech rozumianych jako statyczne właściwości geometryczne, strukturalne, przestrzenne oraz animacyjne (**Flotyński, J., & Walczak, K., 2016**; Walczak, K., Flotyński, J., & Strugała, D., 2019d) oraz potencjalnego zachowania docelowego środowiska XR (**Flotyński, J., Krzyszkowski, M., & Walczak, K., 2017**; Flotyński, J., Krzyszkowski, M., & Walczak, K., 2018). Komponowanie środowiska to zadanie ekspertów dziedzinowych formułujących zapytania z użyciem znanej sobie terminologii dziedzinowej.

   d) *Kompilowania środowiska E-XR*, które oprócz swojej podstawowej funkcjonalności, umożliwia eksplorację zachowania użytkowników i obiektów za pomocą pojęć dziedzinowych. Dodatkowo kontekst interakcji między użytkownikiem a środowiskiem XR, np. wykorzystywane urządzania do prezentacji i interakcji ze środowiskiem, może wpłynąć na końcową formę wygenerowanego środowiska (**Trellet, M. et al., 2018**). Przykładowo na monitorze prezentowany jest model 3D wraz z opisem analitycznym obiektu, natomiast na smartfonie wyświetlany jest wyłącznie model 3D. Kompilacja środowiska jest wykonywana automatycznie przez zaimplementowane narzędzia E-XR.

   Utworzone za pomocą opisanej metody środowiska XR wykorzystują algorytm generowania semantycznych logów zachowania (Flotyński, J., & Sobociński, P., 2018a) i mogą być przedmiotem eksploracji w zakresie swoich właściwości statycznych (niezależnych od czasu) oraz dynamicznych (zmiennych w czasie), oznaczających zachowanie – akcje i interakcje – użytkowników i obiektów XR. Eksplorowane może być zachowanie, które może, ale nie musi wystąpić w danym środowisku XR, jak również zachowanie, które dzieje się aktualnie lub wystąpiło wcześniej podczas korzystania ze środowiska.

5) *Metody eksploracji środowisk XR*, które umożliwiają wizualną i opartą na wiedzy eksplorację środowisk XR tworzonych za pomocą *metody tworzenia środowisk*. Metody eksploracji są oparte na automatycznym wnioskowaniu (**Walczak, K., & Flotyński, J., 2019e**) i zapytaniach, i obejmują

cechy i zachowania użytkowników oraz obiektów XR dotyczące ich przeszłych, obecnych i potencjalnych przyszłych akcji i interakcji. Przeszłe oraz obecne (trwające) zachowanie środowiska można eksplorować za pomocą metody eksploracji wstecz. Potencjalne przyszłe zachowanie środowiska można natomiast eksplorować za pomocą metody symulacji i eksploracji wprzód.

V. Implementacja podejścia E-XR

Podejście E-XR zaimplementowano w postaci zestawu narzędzi umożliwiających tworzenie środowisk E-XR, przechodząc przez kolejne etapy *metody tworzenia środowisk E-XR* i wykorzystując modele danych omówione w punkcie IV. Narzędzia E-XR są rozszerzeniem środowisk deweloperskich Eclipse i MS Visual Studio. Zaimplementowano następujące współpracujące ze sobą narzędzia E-XR: *przeglądarkę ontologii, edytory zachowania, edytor mapowania, kompozytor środowisk, kompilator opisów zachowania* oraz *bibliotekę generowania semantycznych logów zachowania*. W zestawie narzędzi E-XR ontologie i logi zachowania są zapisywane przy użyciu standardów semantycznego internetu: RDF, RDFS i OWL. Zbiory reguł są natomiast zapisywane w języku Prolog.

Przeglądarka ontologii jest modułem używanym w pierwszym etapie metody tworzenia środowisk E-XR. Narzędzie umożliwia przeglądanie klas i właściwości ontologii dziedzinowych wykorzystywanych w projektowanych środowiskach E-XR. Klasy i właściwości dziedzinowe są używane przez inne moduły zestawu narzędzi E-XR odpowiedzialne za tworzenie i prezentowanie zachowania i cech środowisk E-XR.

Zaimplementowano dwie wersje *edytorów zachowania*: graficzny edytor zachowania oraz tekstowy edytor zachowania, które są wtyczkami do środowiska Visual Studio, utworzonymi w technologii .NET. Edytory zachowania są wykorzystywane w drugim etapie metody tworzenia środowisk E-XR. Edytory różnią się generowaną reprezentacją zachowania. *Graficzny edytor zachowania* reprezentuje zachowanie środowisk XR w postaci ontologii zapisywanych w bazie wyrażeń Open-Link Virtuoso (Open-Link, 2020). Edytor jest wyposażony w GUI zaimplementowane w języku XAML. Graficzny edytor zachowania jest odpowiedni przede wszystkim dla nie-informatyków. *Tekstowy edytor zachowania* reprezentuje zachowanie środowisk XR w postaci atrybutów stosowanych do metod klas. Edytor ten jest zintegrowany z edytorem kodu Visual Studio, przez co jest odpowiedni przede wszystkim dla programistów.

Edytor mapowania jest wykorzystywany w drugim etapie metody tworzenia środowisk E-XR. Edytor mapowania jest wtyczką do środowiska Visual Studio, która umożliwia kojarzenie klas w imperatywnym kodzie środowiska z klasami w używanej ontologii dziedzinowej.

Kompozytor środowisk XR umożliwia tworzenie środowisk na podstawie zapytań formułowanych przez użytkowników lub usługi w trzecim etapie metody tworzenia środowisk E-XR. Zapytania określają wymagania, jakie powinno spełniać komponowane środowisko XR, zarówno w zakresie swoich cech, jak i zachowania. Kompozytor składa się z dwóch głównych modułów: wizualnego konstruktora zapytań i procesora zapytań. Wizualny konstruktor zapytań to aplikacja napisana w języku Java, której celem jest umożliwienie formułowania zapytań w sposób intuicyjny i przyjazny dla przeciętnego użytkownika oraz eksperta dziedzinowego, którzy nie są informatykami. Konstruktor zapytań jest oparty na środowisku Eclipse z wtyczką Oxygen. Oxygen to szeroko wykorzystywane narzędzie do tworzenia dokumentów XML. W konstruktorze zapytań narzędzie Oxygen zostało wykorzystane do

graficznego formułowania zapytań w postaci dokumentów XML bazujących na terminologii dziedzinowej określonej w używanej ontologii dziedzinowej. Zapytania XML są następnie konwertowane do języka Prolog, umieszczane w żądaniach HTTP i wysyłane do procesora zapytań za pomocą usług sieciowych zainstalowanych na serwerze Apache. Zapytania są przetwarzane przez bibliotekę C#Prolog (Pool, J., 2017).

Biblioteka generowania semantycznych logów zachowania środowisk E-XR jest dodawana do projektów środowisk przez *kompilator opisów zachowania* i wykorzystywana podczas działania środowisk. Logi generowane przez bibliotekę mają postać ontologii zapisanych w formatach semantycznego internetu (RDF, RDFS i OWL). Wyrażenia zawarte w logach opisują zachowanie środowisk XR w trakcie ich wykorzystania – akcje i interakcje użytkowników oraz obiektów, jak również ich cechy. Biblioteka jest zasobem DLL utworzonym w programie Visual Studio. Wyrażenia semantyczne są tworzone przy użyciu biblioteki Semiodesk Trinity (Semiodesk, 2015). Wygenerowane logi są natomiast przechowywane w bazie wyrażeń Open-Link Virtuoso (Open-Link, 2020). Biblioteka generowania logów przechwytuje również ekran podczas działania środowisk E-XR. Rejestrowane obrazy i sekwencje wideo ściśle odzwierciedlają akcje i interakcje użytkowników i obiektów zachodzące w scenach środowiska E-XR, co umożliwia jego eksplorację wizualną oprócz eksploracji semantycznej.

Kompilator opisów zachowania środowisk XR jest wykorzystywany w czwartym etapie metody tworzenia środowisk E-XR. Kompilator implementuje wstrzykiwanie kodu do środowisk zgodnie z podejściem aspektowym, dołącza *bibliotekę generowania logów zachowania* do środowiska oraz rozszerza metody implementujące zachowanie środowiska o wywołania odpowiednich funkcji biblioteki generowania logów. Kompilator jest oparty na bibliotece dotNetRDF (dotNetRDF, 2020) służącej do przetwarzania ontologii oraz ANTLR (Parr T., 2014) służącej do tworzenia parserów i kompilatorów.

VI. Przykłady zastosowań podejścia E-XR

Podejście E-XR posłużyło do opracowania szeregu aplikacji, które ilustrują jego możliwe zastosowania. Aplikacje powstały w ramach mojej pracy na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu oraz w trakcie zagranicznych wizyt naukowych. Zaimplementowane aplikacje przedstawiono w kolejnych punktach.

Aplikacja 1: Eksplorowalny wirtualny salon samochodowy

Eksplorowalny wirtualny salon samochodowy został opracowany w celu szybkiego tworzenia i oceny koncepcji marketingowych i merchandisingowych (Flotyński, J., Nowak, A., & Walczak, K., 2018b; Flotyński, J., & Nowak, A., 2019c; PUEB, 2018; **Flotyński J., 2020**). Salon został przedstawiony na Rysunkach 3 i 4. Procesy tworzenia i dostosowywania produktów wirtualnych są zazwyczaj łatwiejsze i mniej czasochłonne oraz pozwalają na szybsze uzyskanie informacji zwrotnej od potencjalnych klientów w porównaniu z wykorzystaniem fizycznych produktów. W marketingu i merchandisingu środowiska E-XR mogą dostarczać istotnych informacji o zachowaniu, zainteresowaniach i preferencjach klientów odwiedzających wirtualne sklepy, wystawy i salony sprzedaży. Do tej pory w takich badaniach najczęściej wykorzystywane były rzeczywiste sklepy, salony sprzedaży i produkty (Borusiak B., 2017).

Rysunek 3. Eksplorowalny wirtualny salon samochodowy – widok samochodów z zewnątrz.

Rysunek 4. Eksplorowalny wirtualny salon samochodowy – widok wnętrza samochodu.

Eksplorowalny salon samochodowy pozwala na oglądanie i konfigurację wirtualnych samochodów. Z jednej strony wirtualny salon może być atrakcyjny dla potencjalnych klientów prawdziwych salonów samochodowych. Z drugiej strony salon daje producentom i dystrybutorom samochodów możliwość doskonalenia swoich produktów i salonów sprzedaży w oparciu o szybką informację zwrotną od klientów. Ponadto ostatnie badania pokazują, że innowacyjne metody prezentacji odnoszą większy sukces w strategiach marketingowych niż tradycyjne media wizualne (Fransen, M. L. et al., 2015). Zastosowanie XR może być postrzegane jako jedno z takich innowacyjnych podejść.

Eksplorowalny salon samochodowy został zaimplementowany jako aplikacja bazująca na silniku gier Unity, która wykorzystuje urządzenie nagłowne Oculus Rift HMD oraz urządzenie do śledzenia dłoni Leap Motion.

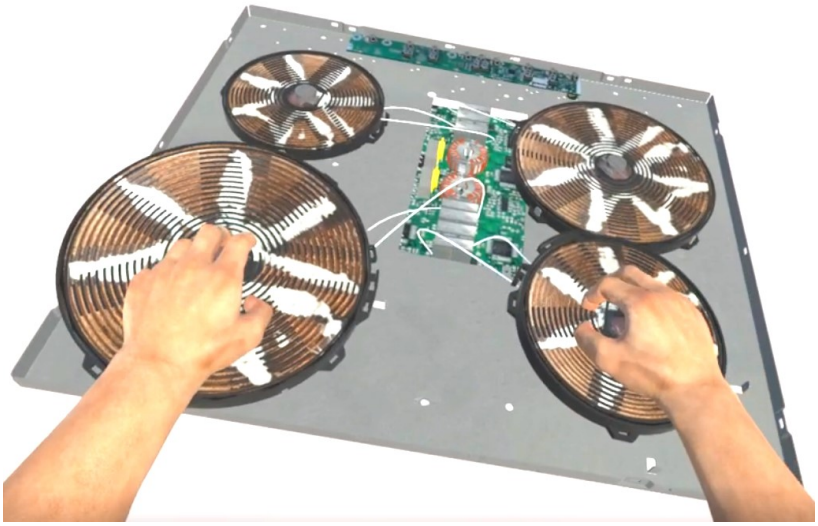
Użytkownicy mogą wykonywać różne czynności w salonie samochodowym, np. oglądać samochody z zewnątrz i wewnątrz, zajmować dowolne miejsca w samochodach i wybierać kolor samochodu. Wszystkie czynności użytkownika wykonywane w trakcie odwiedzin salonu są rejestrowane przez środowisko w postaci logów zachowania zapisanych za pomocą standardów semantycznego internetu – RDF, RDFS i OWL. Logi mogą być eksplorowane za pomocą semantycznych zapytań w języku SPARQL.

Przykładowe zapytania to: ile czasu klient spędził na oglądaniu poszczególnych samochodów w salonie oraz które miejsca wewnątrz samochodu klient wybiera najczęściej? Tego typu informacje pozwalają określić produkty najbardziej interesujące dla klientów oraz sposób korzystania przez nich z samochodów (kierowca czy pasażer).

Aplikacja 2: Eksplorowalny wirtualny przewodnik serwisanta sprzętu domowego

Eksplorowalny wirtualny przewodnik serwisanta urządzeń gospodarstwa domowego wspomaga szkolenie serwisantów w zakresie napraw płyt indukcyjnych (Flotyński J. et al., 2019f; Walczak K. et al., 2019f; **Flotyński J., 2020**). Przewodnik został przedstawiony na Rysunkach 5 i 6. Przewodnik opracowano we współpracy z firmą Amica S.A. Wirtualne przewodniki pod wieloma względami przewyższają bardziej tradycyjne przewodniki multimedialne – tekstowe, audio i wideo.

Rysunek 5. Eksplorowalny wirtualny przewodnik serwisanta sprzętu domowego – wymiana cewek płyty indukcyjnej.



Rysunek 6. Eksplorowalny wirtualny przewodnik serwisanta sprzętu domowego – wymiana płyt grzewczych płyty indukcyjnej.

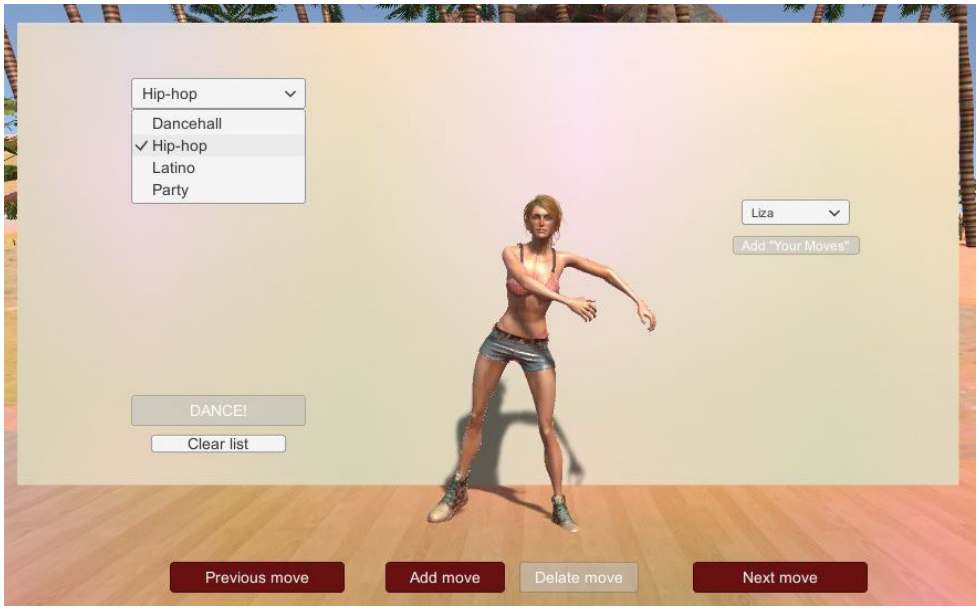
Przewodnik jest aplikacją opartą na silniku gier Unity. Prezentacja wirtualnych produktów użytkownikom jest możliwa dzięki urządzeniu nagłownemu HTC Vive. Interakcja użytkowników z

modelami produktów jest możliwa dzięki urządzeniu śledzenia gestów dłoni Leap Motion. Różne gesty rąk umożliwiają wykonywanie różnych czynności na płytach indukcyjnych, np. demontaż, montaż i testowanie elementów. Animowane dłonie serwisanta są prezentowane w ramach scen XR za pomocą realistycznych modeli 3D. Jest to intuicyjna i przyjazna dla użytkownika forma interakcji.

Przewodnik implementuje kilka scenariuszy naprawy najczęstszych usterek i testowania płyt indukcyjnych. Przewodnik umożliwia serwisantom obejrzenie różnych elementów płyt prezentowanych z dużą dokładnością, powiększanie i pomniejszanie oraz oglądanie animacji i filmów prezentujących wykonywane czynności. Przewodnik obejmuje różne interaktywne scenariusze XR, np. testowanie podłączenia płyty do źródła zasilania, testowanie tranzystorów i wyświetlacza, wymianę cewek, płyt grzewczych i wentylatora oraz testowanie pracy płyty. W trakcie działania przewodnika generowane są logi interakcji, które umożliwiają realizację zapytań dotyczących czynności wykonywanych przez serwisanta. Przykładowe zapytania to: zaprezentuj czynność montażu cewki i określ, do jakiego elementu cewka jest podłączana; zaprezentuj czynność montażu wiatraka i określ, który przełącznik włącza wiatrak.

Aplikacja 3: Kompozytor eksplorowalnych choreografii

Kompozytor eksplorowalnych choreografii może być wykorzystywany jako narzędzie wspomagające naukę tańca (**Flotyński, J., Krzyszkowski, M., & Walczak, K., 2017**; PUEB, 2018b) oraz ćwiczeń fitness (Flotyński, J., Krzyszkowski, M., & Walczak, K., 2018; **Flotyński, J., Walczak, K. & Krzyszkowski, M., 2020**). Kompozytor został przestawiony na Rysunkach 7 i 8. Narzędzie zostało zaimplementowane za pomocą silnika gier Unity. Kompozytor umożliwia semantyczną eksplorację choreografii, np. stwierdzenie w którym momencie animacji poszczególne awatary na scenie będą wykonywały określone figury taneczne; w jakim przedziale czasu awatary będą tańczyły razem. Eksploracja choreografii za pomocą zapytań może usprawnić posługiwanie się wirtualnymi materiałami szkoleniowymi w porównaniu do wykorzystania bardziej tradycyjnych materiałów, takich jak filmy oraz animacje.



Rysunek 7. Kompozytor eksplorowalnych choreografii – wybór postaci i elementów układu.

Rysunek 8. Kompozytor eksplorowalnych choreografii – układ taneczny awatarów.

Aplikacja 4: Środowisko eksplorowalnego projektowania przestrzennego

Środowisko eksplorowalnego projektowania przestrzennego jest aplikacją peer-to-peer opartą na silniku gier Unity (Flotyński, J., & Sobociński, P., 2018a; Flotyński, J., & Sobociński, P., 2018c; PUEB, 2018c). Środowisko obejmuje różnorodne urządzenia do prezentacji i interakcji z treściami 3D, które umożliwiają modelowanie treści przez wielu użytkowników jednocześnie: interaktywną ścianę projekcyjną (powerwall), system rozpoznawania gestów Kinect oraz stół wielodotykowy. Ściana projekcyjna umożliwia zanurzeniowe pokazy projektów dla wielu użytkowników jednocześnie (Rysunek 9). System Kinect pozwala na intuicyjną interakcję ze środowiskiem maksymalnie sześciu użytkownikom jednocześnie. Stół wielodotykowy umożliwia natomiast precyzyjną prezentację i interakcję z projektem kilku osobom jednocześnie wykorzystującym maksymalnie 30 punktów dotyku (Rysunek 10). Środowisko rozpoznaje różne gesty, np. stuknięcie powoduje zaznaczenie obiektu, przeciągnięcie – pozycjonowanie obiektu, a uszczypnięcie – skalowanie obiektu. Dzięki zastosowaniu różnych narzędzi prezentacji i interakcji, wielu autorów jednocześnie może projektować różne elementy miasta, np. jeden autor ustawia skalę budynku, a inny projektuje drogi wokół niego.

Rysunek 9. Środowisko eksplorowalnego projektowania przestrzennego – modelowanie za pomocą ściany projekcyjnej i sensora Kinect.

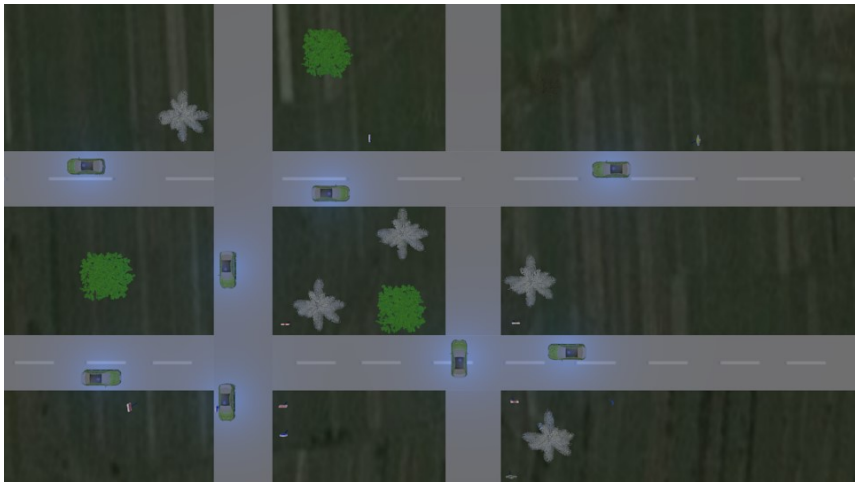
Rysunek 10. Środowisko eksplorowalnego projektowania przestrzennego – modelowanie za pomocą stołu wielodotykowego.

System umożliwia 4-wymiarową reprezentację projektów za pomocą semantycznych logów czynności wykonywanych przez projektantów w trakcie modelowania miasta. Logi umożliwiają śledzenie etapów projektowania, jak również symulowanie procesów kształtowania obszarów zabudowanych. Przykładowe zapytania do semantycznych logów to: co znajdowało się w miejscu zajmowanym przez konkretny budynek przed jego postawieniem; która dzielnica ma najmniejszą liczbę sklepów?

Aplikacja 5: Kompozytor eksplorowalnych scen 3D ruchu drogowego

Kompozytor eksplorowalnych scen 3D ruchu drogowego umożliwia tworzenie scen 3D w odpowiedzi na semantyczne zapytania użytkowników bazujące na terminologii związanej z ruchem drogowym (**Flotyński, J., & Walczak, K., 2016; Walczak, K., & Flotyński, J., 2019e**). Narzędzie zostało zaimplementowane w języku Python w środowisku Blender. Jak wykazano w publikacjach, użycie semantycznych zapytań znacząco usprawnia tworzenie i adaptację scen przez nie-informatyków w porównaniu z tradycyjnym podejściem do modelowania treści 3D. Przykładowe zapytanie tworzące scenę 3D to: ułóż po dwie drogi równolegle do siebie i przecinające się prostopadle, tworząc 4 skrzyżowania; na każdej drodze umieść 1-5 pojazdów oddalonych od siebie o 2-20 m. Przykładowe sceny przedstawiono na Rysunkach 11 i 12. Wygenerowane sceny są opisane za pomocą standardów RDF, RDFS i OWL. Sceny mogą być dostosowywane do potrzeb użytkowników, np. wyświetl tylko pojazdy uprzywilejowane, oraz eksplorowane, np. czy określony pojazd zbliżający się do skrzyżowania powinien ustąpić pierwszeństwa innemu pojazdowi. Zaprezentowane podejście może usprawnić tworzenie materiałów instruktażowych i szkolenie kierowców.

Rysunek 11. Kompozytor eksplorowalnych scen 3D ruchu drogowego – pełna scena skrzyżowania.



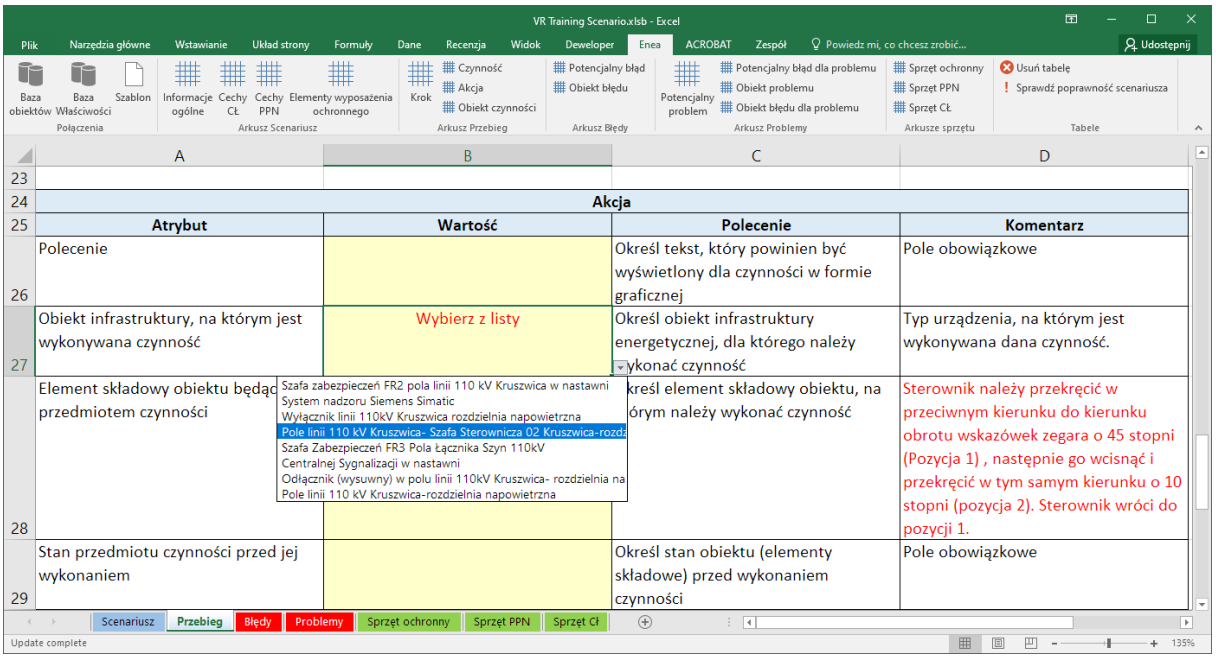
Rysunek 12. Kompozytor eksplorowalnych scen 3D ruchu drogowego – scena prezentująca wyłącznie pojazdy uprzywilejowane.

Aplikacja 6: Edytor eksplorowalnych scenariuszy szkoleniowych dla operatorów elektryków

Edytor eksplorowalnych scenariuszy szkoleniowych został zaimplementowany jako rozszerzenie narzędzia Microsoft Excel (Rysunek 13), aby umożliwić efektywne projektowanie scenariuszy szkoleniowych przez operatorów elektryków (**Walczak K. et al., 2020**). Główne zalety korzystania z MS Excel to powszechna dostępność i popularność oprogramowania oraz dostępność wielu dobrze udokumentowanych dodatków i bibliotek programistycznych.

Edytor scenariuszy jest z założenia wykorzystywany przed szkoleniem początkujących elektryków w realnych warunkach, na poligonie szkoleniowym, gdzie dla kursantów szczególnie niebezpieczne są pomyłki w pracy na urządzeniach wysokiego napięcia. Edytor pozwala szkoleniowcom modelować scenariusze określając sekwencje kroków oraz potencjalne problemy ze sprzętem, które mogą wystąpić, jak również możliwe do popełnienia błędy kursantów. Edytor eksportuje scenariusz w formie kolekcji baz wiedzy zapisanych za pomocą standardów RDF, RDFS i OWL. Bazy wiedzy scenariuszy są wczytywane przez aplikację XR napisaną w silniku gier Unity, która pozwala wykonać opisany scenariusz szkoleniowy dla określonej sceny 3D (Rysunek 14).

Semantyczny opis scenariuszy pozwala na ich eksplorację przez zapytania, np. jaką czynność należy wykonać przed uruchomieniem transformatora; jakie problemy mogą potencjalnie wystąpić podczas wyłączania pola linii wysokiego napięcia?



Rysunek 13. Edytor eksplorowalnych scenariuszy szkoleniowych dla operatorów elektryków – projekt scenariusza szkoleniowego.

Rysunek 14. Edytor eksplorowalnych scenariuszy szkoleniowych dla operatorów elektryków – wygenerowana scena 3D realizująca scenariusz szkoleniowy.

Aplikacja 7: Konfigurowalny wirtualny sklep

Konfigurowalny wirtualny sklep został opracowany w celu prowadzenia badań marketingowych, w szczególności merchandisingowych (Walczak, K., Flotyński, J., & Strugała, D., 2019d; PUEB, 2018d). Przykładowe sceny z wygenerowanego wirtualnego sklepu przedstawiono na Rysunkach 15 i 16. Konfigurator umożliwia personalizację sklepów w zakresie rozmieszczania regałów i towarów na

regałach za pomocą semantycznych zapytań w formie baz wiedzy. Semantyczne zapytanie jest łączone z semantycznym opisem spersonalizowanego sklepu, a powstała w ten sposób suma dwóch baz wiedzy stanowi opis sceny, który może być przedmiotem szczegółowych zapytań w celu eksploracji, np. w którym miejscu sklepu znajduje się określony produkt? Tego typu zapytania mogą dostarczać istotnych informacji dotyczących preferencji klientów oraz efektywnego, z punktu widzenia sprzedawcy, rozmieszczenia produktów w sklepie.

Rysunek 15. Wirtualnych sklep przed personalizacją.

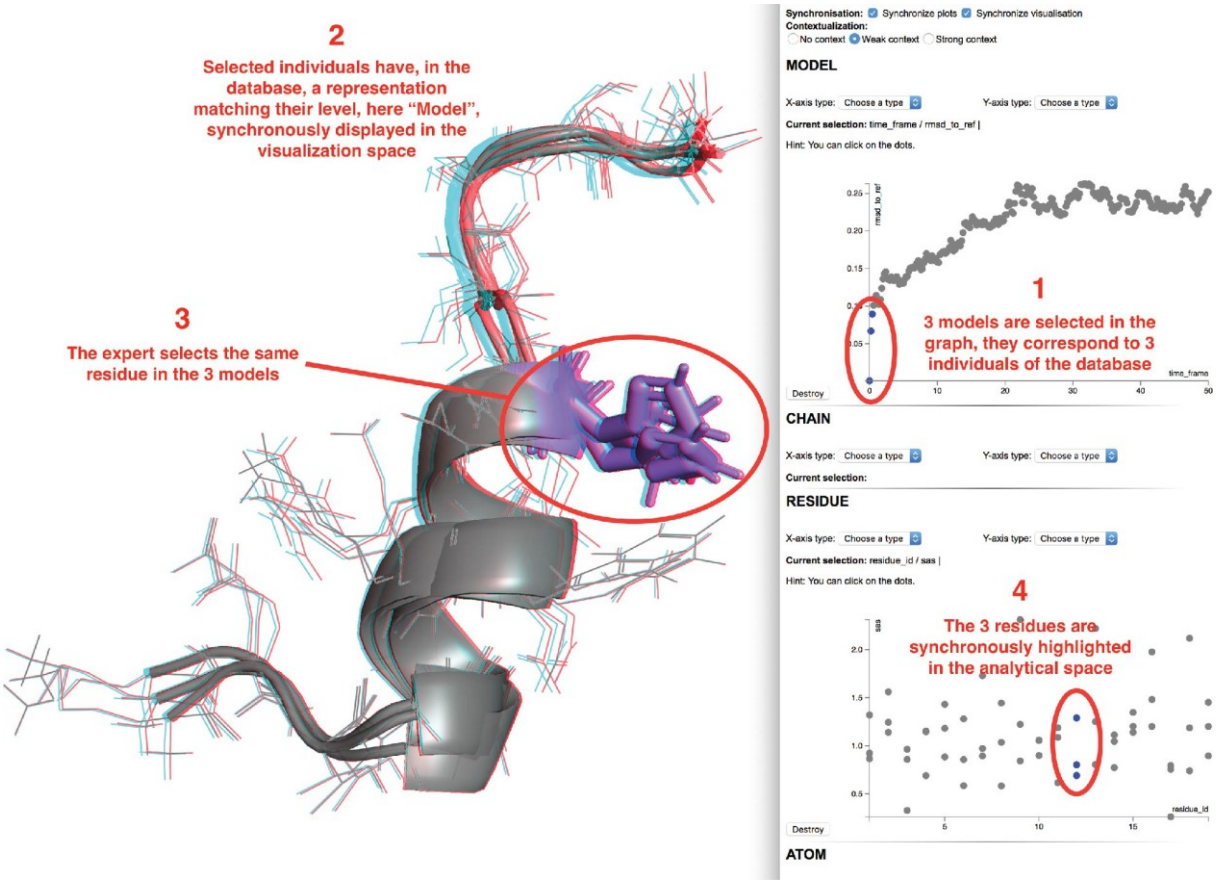
Rysunek 16. Wirtualny sklep po personalizacji.

Aplikacja 8: Generator wielomodalnych analitycznych środowisk XR

W przypadku systemu generowania wielomodalnych analitycznych środowisk XR (**Trellet, M. et al., 2018**) wielomodalność jest rozumiana jako możliwość prezentacji treści i interakcji z treściami za pomocą różnorodnych urządzeń XR, np. ścian projekcyjnych, pokojów projekcji, urządzeń nagłownych, systemów śledzenia ruchu i kontrolerów. W opisywanym systemie możliwości stosowanych urządzeń determinują właściwości generowanych aplikacji XR. Przykładowo, aplikacja dla chemików wyświetlana na dużym ekranie (np. ścianie projekcyjnej) może prezentować szczegółowe modele 3D

cząstek, jak również analizę odpowiadających im obiektów rzeczywistych w formie wykresów (Rysunek 17).

Generator środowisk łączy dane strukturalne i analityczne, używając semantycznego opisu treści (dane naukowe), kontekstu (środowiska zanurzeniowe i interfejsy) oraz operacji, które można wykonywać na prezentowanych danych i modelach 3D za pomocą używanego sprzętu. Treść, kontekst oraz operacje są opisane przez ontologie i bazy wiedzy, co umożliwia ich eksplorację za pomocą semantycznych zapytań, np. w jakiej formie zostanie wyświetlony określony model 3D określonych cząstek na ekranie smartfonu oraz jaki rodzaj wykresu zostanie użyty do zaprezentowania właściwości obiektów?



Rysunek 17. Analityczne środowisko XR utworzone przez wielomodalny generator.

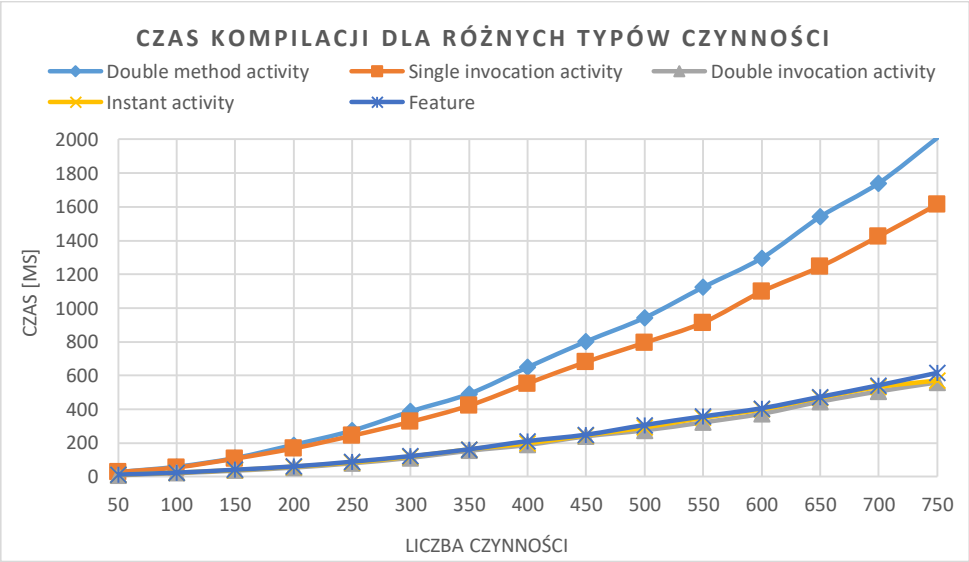
VII. Ewaluacja i dyskusja podejścia E-XR

Podejście E-XR zostało poddane gruntownej ewaluacji jakościowej i ilościowej, której szczegółowe wyniki zostały przedstawione w monografii (**Flotyński J., 2020**) oraz artykułach (**Flotyński J. 2020b; Flotyński, J., & Walczak, K. 2016; Flotyński, J., Walczak, K., & Krzyszkowski, M. 2020; Walczak, K., & Flotyński, J. 2019e**). W kolejnych punktach przedstawiono główne wnioski płynące z przeprowadzonych testów.

Transformacja istniejących środowisk XR do środowisk E-XR

Uzyskane wyniki testów pokazują, że podejście E-XR umożliwia efektywną transformację istniejących środowisk XR do środowisk E-XR. Średni czas transformacji pojedynczego środowiska XR na średnio

wydajnym komputerze waha się od kilku milisekund dla środowisk z dziesiątkami metod do około 2000 milisekund dla środowisk z setkami metod, z których każda reprezentuje jakąś czynność wykonywaną przez obiekty XR (Rysunek 18). Wydajność transformacji powinna być zatem akceptowalna dla indywidualnych użytkowników i twórców usług internetowych, umożliwiając transformację środowisk XR na żądanie.

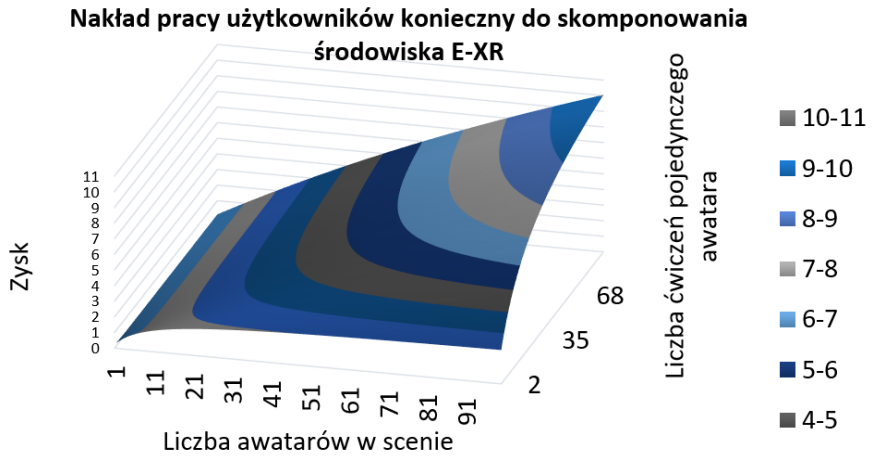


Rysunek 18. Transformacja istniejących środowisk XR do środowisk E-XR w zależności od ogólnej liczby czynności (metod) wykonywanych przez obiekty środowiska.

Kompozycja środowisk E-XR

Porównanie do silnika gier Unity

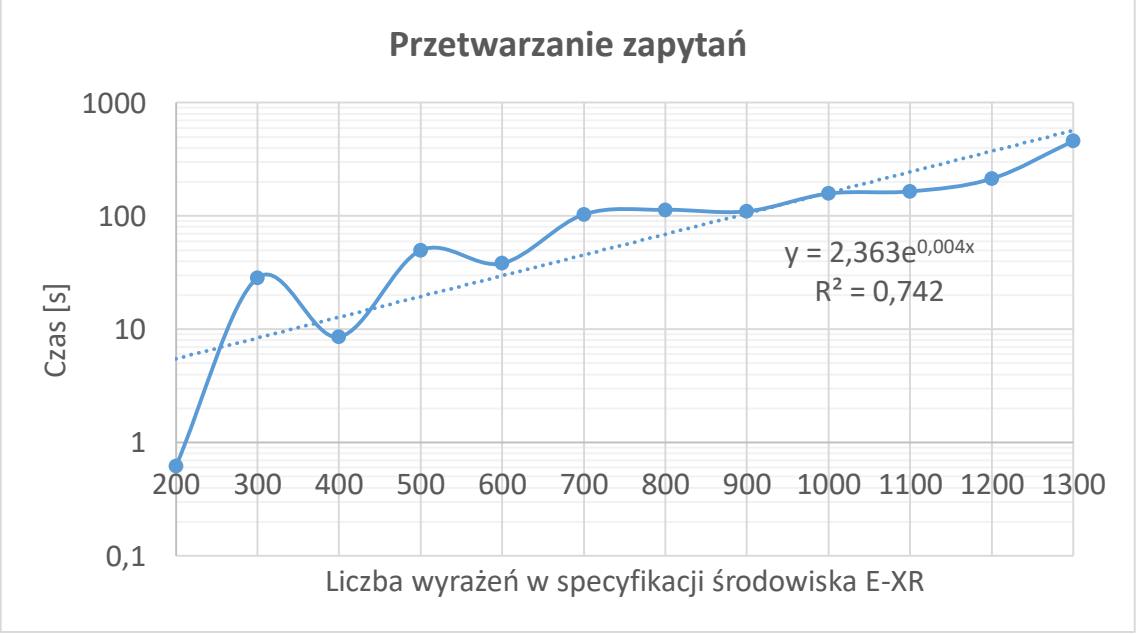
W porównaniu z silnikiem gier Unity, podejście E-XR zmniejsza nakład pracy użytkowników, mierzony liczbą kliknięć myszy i przycisków klawiatury, konieczny do skomponowania środowiska XR (Rysunek 19). Zysk rośnie wraz ze wzrostem złożoności scen 3D, które zawierają więcej obiektów wykonujących określone czynności. Jedynie w przypadku scen 3D z zaledwie kilkoma obiektami projektowanie w Unity przewyższa zastosowanie podejścia E-XR. Przewaga E-XR nad Unity w przypadku większych scen wynika z modelowania środowisk na wysokim poziomie abstrakcji, związanym z dziedziną aplikacyjną, z wykorzystaniem pojęć dziedzinowych i ukrywaniem szczegółów technicznych przed autorami treści.



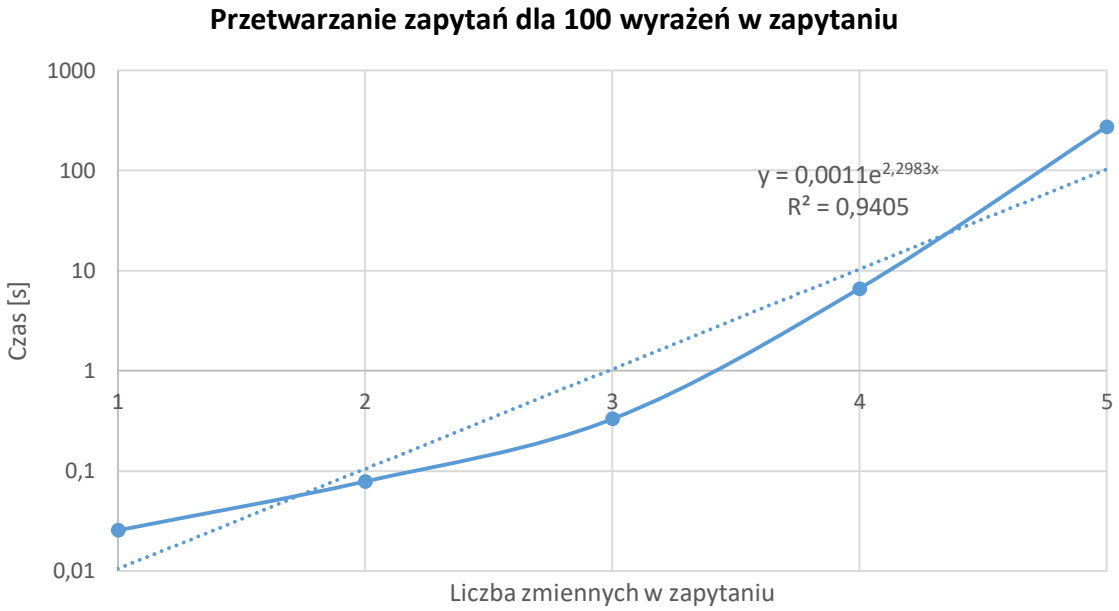
Rysunek 19. Zysk (iloraz liczby kliknięć myszy i przycisków klawiatury) między Unity a E-XR w zależności od liczby obiektów w scenie środowiska oraz liczby czynności przypisanych do pojedynczego obiektu. Wartości wyższe niż 1 oznaczają przewagę podejścia E-XR.

Złożoność specyfikacji środowisk E-XR oraz zapytań

Testy wydajności pokazują, że podejście E-XR jest wystarczająco wydajne, aby rozwiązywać praktyczne problemy, które wymagają specyfikacji środowisk E-XR składających się z setek wyrażeń semantycznych i zapytań składających się z dziesiątek wyrażeń semantycznych (Rysunek 20). Najistotniejszym ograniczeniem jest liczba zmiennych w zapytaniach. Parametr ten ma znaczący wpływ na czas przetwarzania w porównaniu z liczbą wyrażeń w specyfikacji środowiska i zapytaniach (Rysunek 21).



Rysunek 20. Czas przetwarzania zapytania w zależności od liczby wyrażeń w specyfikacji środowiska, testowany dla zapytań składających się z 10 wyrażeń z 5 zmiennymi.



Rysunek 21. Czas przetwarzania zapytania w zależności od liczby zmiennych w zapytaniu, testowany dla zapytań składających się ze 100 wyrażeń.

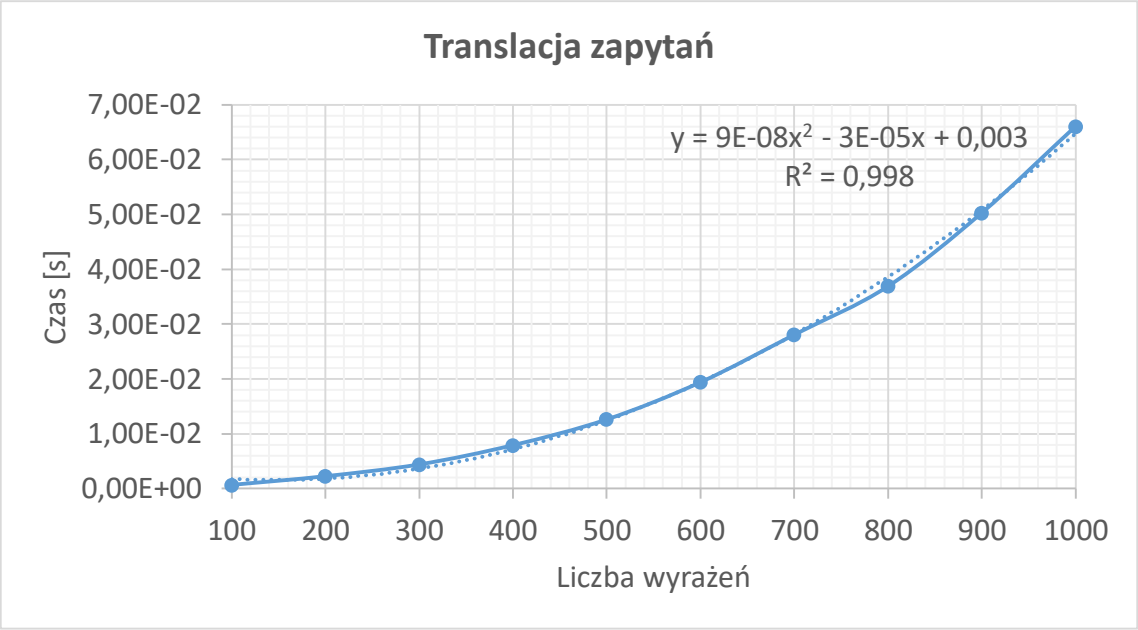
Obciążenie wieloma zmiennymi w zapytaniu można jednak do pewnego stopnia zmniejszyć. Zarówno specyfikacje środowisk XR jak i zapytania można podzielić na mniejsze części, które mogą być przetwarzane oddzielnie. Takiego podziału można dokonać ze względu na semantykę, biorąc pod uwagę wyrażenia używane w różnych częściach zapytań i wybierając odpowiednie części specyfikacji środowiska do weryfikacji przez te podzapytania. W niektórych zastosowaniach fragmenty specyfikacji środowiska można wydzielić wcześniej na podstawie rozłącznych zbiorów możliwych wartości zmiennych używanych w instrukcjach opartych na różnych predykatach. Ponadto wyniki często wysyłanych zapytań można przechowywać w pamięci podręcznej i udostępniać bez ich ponownego wyznaczania przy każdym żądaniu.

Równoległe przetwarzanie specyfikacji środowisk E-XR

Wnioskowanie na podzapytaniach i podzbiorach specyfikacji można również wykonywać równolegle. W analizowanych aplikacjach takie rozwiązanie umożliwiłoby generowanie spersonalizowanych środowisk XR w krótszym czasie, z wykorzystaniem synchronicznej komunikacji klient-serwer w sieci WWW. Tworzenie środowisk z bardziej złożonymi scenami 3D wymagającymi zapytań z kilkunastoma zmiennymi, które wymagają dłuższego czasu przetwarzania, zapewne nadal wymagałoby asynchronicznej komunikacji z powiadomieniami (np. przez email lub SMS) o wygenerowanym środowisku XR. Zapobiegłoby to przekraczaniu limitu czasu oczekiwania na odpowiedź serwera w przeglądarkach internetowych.

Translacja zapytań z formatu XML do Prolog i generowanie środowisk

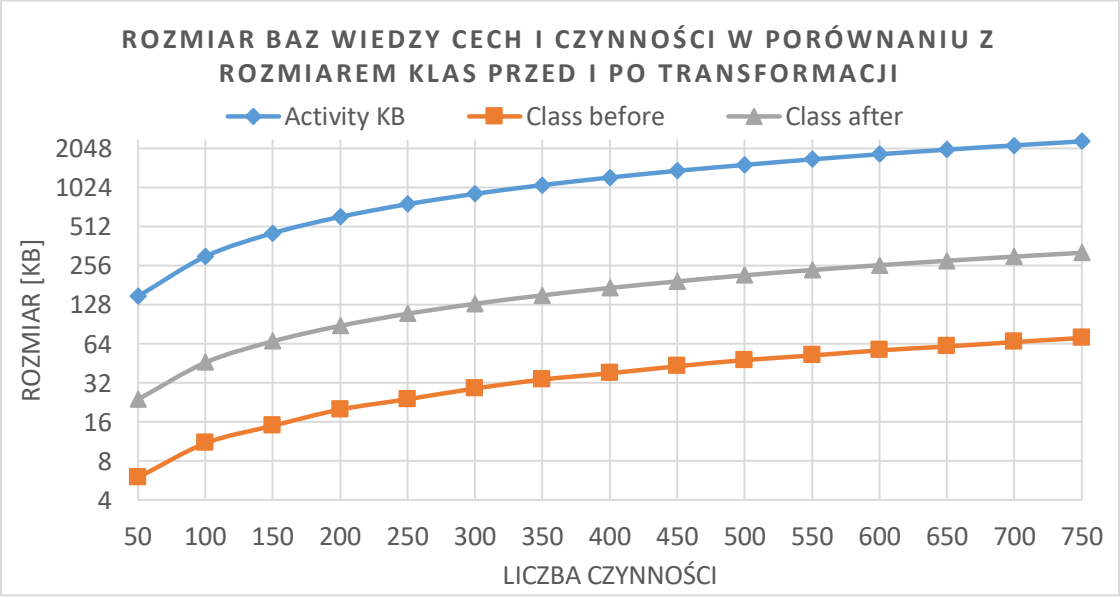
W porównaniu z czasem przetwarzania zapytań, czas translacji zapytań z XML do języka Prolog oraz czas generowania środowisk są pomijalne (Rysunek 22). Nie stanowią one zatem ograniczenia w całym procesie tworzenia środowisk E-XR.



Rysunek 22. Czas translacji zapytania z XML do języka Prolog w zależności od liczby wyrażeń w zapytaniu.

Mapowanie

Mapowanie klas w imperatywnym kodzie środowiska XR do klas w ontologii dziedzinowej oraz etapów wykonywania metod klas do zdarzeń dziedzinowych jest zapisywane w postaci ontologii. Ich rozmiar w opracowanych środowiskach jest niewielki (średnio 42B na pojedyncze przypisanie) w porównaniu z innymi ontologiami i zbiorami reguł wykorzystywanymi w podejściu E-XR. Rozmiar mapowania nie powinien zatem ograniczać praktycznych zastosowań podejścia. Podobnie rozmiar baz wiedzy cech i czynności środowisk XR jest umiarkowany (nieprzekraczający tego podanego na Rysunku 23), dlatego również nie powinien stanowić problemu w praktycznych zastosowaniach.



Rysunek 23. Rozmiar baz wiedzy opisujących czynności obiektów w środowiskach E-XR w porównaniu z rozmiarem opisywanych klas w kodzie środowiska.

Generowanie logów zachowania

Wydajność generowania logów zachowania w dużym stopniu zależy od konfiguracji badanego środowiska XR i jego bazy wyrażeń (ang. triplestore), w którym logi są zapisywane (Tabela 2). Wydajność generowania logów jest najwyższa w przypadku środowiska XR i bazy wyrażeń zainstalowanych na tym samym komputerze, co umożliwia semantyczne rejestrowanie animacji przy zachowaniu akceptowalnego współczynnika FPS (klatek na sekundę). Czas generowania logów jest znacznie dłuższy, gdy wyrażenia są przesyłane przez sieć, co znacznie zmniejsza uzyskiwaną liczbę klatek na sekundę. W takich przypadkach właściwe jest ograniczenie rejestracji do nieregularnych akcji i interakcji zamiast animacji systematycznie zmieniających środowisko.

Wspomniany problem można rozwiązać na różne sposoby. Po pierwsze, generowanie logów może być wykonywane przez inny wątek niż ten odpowiedzialny za renderowanie treści 3D. W takim przypadku wyrażenia generowane z dużą częstotliwością przez animacje mogą czekać w kolejce FIFO na zapisanie w bazie wyrażeń, bez zatrzymywania wątku renderującego treść 3D. Po drugie, transmisja może gromadzić wiele wyrażeń w większe pakiety, aby zmniejszyć średnie opóźnienie w trakcie przesyłania danych przez sieć. Po trzecie, porównawczej analizie wydajności można poddać także inne bazy wyrażeń niż ta zastosowana w pracy.

Tabela 2. Wydajność generowania semantycznych logów zachowania dla różnych konfiguracji rozproszonego środowiska E-XR.

Kryteria		Localhost	Sieć akademicka (CAN)	CAN / Localhost
Czas [ms]	Średnia	26,35	67,19	2,55
	Odchylenie standardowe	1,88	9,54	5,08
	Współczynnik zmienności	0,07	0,14	1,99
	Minimum	110,69	273,91	2,47
	Maksimum	183,98	864,48	4,70
Liczba	Wyrażenia czasowe	21 000	8 005	0,38
	Wyrażenia RDF	78 856	31 858	0,40
	Obiekty	13 146	5 313	0,40
Rozmiar	Wyrażenia czasowe [B]	234,71	247,43	1,05
	Logi zachowania [KB]	4 813,39	1 934,27	0,40

Logi zachowania generowane w analizowanych przypadkach użycia mają dopuszczalną wielkość, biorąc pod uwagę możliwe praktyczne zastosowania podejścia E-XR, takie jak szkolenia, projektowanie, marketing i merchandising, nawet w przypadku strumieniowego przesyłania wyrażeń reprezentujących animacje do bazy wyrażeń. Optymalizacji może zostać poddany zapis ontologii i baz wiedzy przez agregację krotek w formacie Turtle dla wspólnych podmiotów i predykatów. Ponadto możliwe jest zastosowanie formatów RDF/JSON (W3C, 2013b) i JSON-LD (W3C, 2020a) do zapisywania ontologii i baz wiedzy.

Wymagania dotyczące wiedzy i umiejętności technicznych przy projektowaniu środowisk E-XR

Celem pracy było opracowanie podejścia umożliwiającego tworzenie eksplorowalnych środowisk XR przez użytkowników, którzy mają ograniczone umiejętności programowania i modelowania 3D, w tym ekspertów dziedzinowych. Podstawowym warunkiem projektowania środowisk E-XR jest znajomość głównych założeń obiektowego modelu danych i przetwarzania: klas, metod i zmiennych, jak również modelu danych RDF opartego na semantycznych wyrażeniach w postaci trójek. Taka wiedza jest wystarczająca do korzystania z zaimplementowanych narzędzi deweloperskich E-XR, w których wymienione koncepcje są wykorzystywane w sposób wizualny i przyjazny dla użytkownika. Drugim wymaganiem jest znajomość wybranej ontologii dziedzinowej. Wybór metod klas i zmiennych dla predykatów, podmiotów i obiektów w wyrażeniach semantycznych opisujących zachowanie i cechy środowisk może być wspomagany przez diagramy przepływu sterowania, np. w UML. Tym samym, podejście E-XR może być stosowane przez kierowników projektów i użytkowników zaznajomionych z narzędziami do projektowania oprogramowania. Wsparcie techniczne od programistów jest konieczne, jeśli prototypowe nie-eksplorowalne środowisko XR musi zostać skonwertowane przed transformacją do postaci eksplorowalnej.

Właściwości logiczne podejścia E-XR

Podejście E-XR opiera się na systemach logicznych będących fragmentami logiki predykatów pierwszego rzędu: logikach opisowych oraz logice Horna. Dlatego istnieje możliwość wykorzystania solidnych i kompletnych algorytmów rozumowania, takich jak rezolucja oraz forward i backward chaining.

Aby umożliwić złożone zapytania, dopuszczono stosowanie negacji przez niepowodzenie. Powoduje to, że system nie jest monotoniczny, ponieważ nowe wyrażenie dodane do specyfikacji eksplorowalnego środowiska XR może być sprzeczne z innymi wyrażeniami w tej specyfikacji. Stąd, jeśli monotoniczność jest kluczową właściwością, którą należy utrzymać podczas tworzenia eksplorowalnych środowisk XR, negacja nie powinna być stosowana.

Specyfikacje eksplorowalnych środowisk XR składają się z klauzul Horna, dla których problem rozumowania należy do klasy P. Jednak ontologie, które również są składnikami specyfikacji środowisk, wymagają profilu OWL 2 DL. Zatem takie zadania wnioskowania, jak sprawdzanie czy obiekt jest instancją klasy, sprawdzanie spełnialności klas, sprawdzanie relacji pod-klas oraz sprawdzanie spójności ontologii i baz wiedzy należą do klasy N2EXPTIME. Otwarta pozostaje natomiast rozstrzygalność poszukiwania odpowiedzi na koniunkcyjne zapytania. Pod tym względem podejście E-XR można zoptymalizować w zależności od wymagań narzucanych na wykorzystywany system logiczny przez daną aplikację. W szczególności użycie profili OWL 2 EL i QL ograniczyłoby czas wnioskowania dla niektórych problemów, odpowiednio, do klas P i NLSPACE. Aby osiągnąć ten cel, należy zrezygnować z używania ograniczeń sumy i ograniczeń kwalifikowanej liczności dla właściwości. W podejściu E-XR konstruktory te służą do ograniczania możliwych struktur obiektów, w tym domen i zakresów właściwości, a także liczby obiektów połączonych za pośrednictwem określonych właściwości. Takie poprawienie wydajności wnioskowania odbyłoby się kosztem siły ekspresji baz wiedzy wykorzystywanych do projektowania środowisk E-XR.

Podsumowanie celu i tezy badań

W przytoczonych publikacjach wykazano osiągnięcie celu pracy naukowej i dowiedziono przyjętej tezy. Z jednej strony, liczne zaimplementowane środowiska XR specyficzne dla różnorodnych dziedzin zastosowań dowodzą, że podejście E-XR umożliwia tworzenie eksplorowalnych środowisk XR opartych na wiedzy dziedzinowej. Z drugiej strony, przeprowadzone testy dowodzą, że podejście E-XR umożliwia tworzenie i wykorzystanie eksplorowalnych środowisk XR w sposób dostatecznie efektywny dla różnorodnych praktycznych zastosowań.

Bibliografia (*publikacje należące do głównego osiągnięcia, wymienione w punkcie 4, wyróżniono pogrubioną czcionką*)

Ashley Watters. (2020). 10 Emerging Trends in Information Technology for 2020. https://www.comptia.org/blog/10-emerging-trends-ininformation-technology-for-2020/.

Bernard Marr. (2019). The 7 Biggest Technology Trends In 2020. Everyone Must Get Ready For Now. https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/09/30/the-7-biggest-technology-trends-in-2020-everyonemust-get-ready-for-now/.

Borusiak, B., Pierański, B., Strykowski, S. (2017). Perception of in-store assortment exposure. Studia Ekonomiczne 334, 108-119.

Brutzman, D., Flotyński, J. (2020). X3D Ontology for Querying 3D Models on the Semantic Web, in: Web3D '20; Proceedings of the 25rd International ACM Conference on 3D Web Technology, Seoul, Korea – November 09-13, 2020, ACM, New York, NY, USA, 7 pages. https://doi.org/10.1145/3424616.3424715.

dotNetRDF. (2020). dotNetRDF – an Open Source .NET Library for RDF. https://www.dotnetrdf.org/.

Flotyński J. (2020). Knowledge-Based Explorable Extended Reality Environments, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-59965-2, https://www.springer.com/gp/book/9783030599645.

Flotyński J. (2020b). Creating Explorable Extended Reality Environments with Semantic Annotations, Multimedia Tools and Applications, Springer US, 2020.

Flotyński, J., & Nowak, A. (2019c). Annotation-based development of explorable immersive VR/AR environments. In International conference on 3d immersion (IC3D), December 11-12, 2019, Brussels, Belgium.

Flotyński, J., & Sobociński, P. (2018a). Logging Interactions in Explorable Immersive VR/AR Applications. In 2018 International Conference on 3D Immersion (IC3D), Brussels, 5-6 Dec. 2018 (p. 1-8). IEEE. doi: 10.1109/IC3D.2018.8657830.

Flotyński, J., & Sobociński, P. (2018c). Semantic 4-dimensional modeling of VR content in a heterogeneous collaborative environment. In Proceedings of the 23rd international acm conference

on 3d web technology (pp. 11:1–11:10). New York, NY, USA: ACM. http://doi.acm.org/10.1145/3208806.3208830 doi:10.1145/3208806.3208830.

Flotyński, J., & Walczak, K. (2016). Customization of 3D content with semantic meta-scenes. Graphical Models, 88, 23-39. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.gmod.2016.07.001.

Flotyński, J., & Walczak, K. (2017a). Knowledge-based representation of 3D content behavior in a service-oriented virtual environment. In Proceedings of the 22nd References 257 international conference on web3d technology, Brisbane (Australia), June 5-7, 2017, (p. Article No 14). ACM, New York. doi: 10.1145/3055624.3075959.

Flotyński, J., & Walczak, K. (2017b). Ontology-Based Representation and Modelling of Synthetic 3D Content: A State-of-the-Art Review. Computer Graphics Forum, 35, 329–353. doi: 10.1111/cgf.13083

Flotyński, J., Brutzman, D., Hamza-Lup, F. G., Malamos, A., Polys, N., Sikos, L. F., & Walczak, K. (2019a). The semantic Web3D: Towards comprehensive representation of 3D content on the semantic web. In International conference on 3D immersion (IC3D), December 11-12, 2019, Brussels, Belgium.

Flotyński, J., Englert, A., Nowak, A., & Walczak, K. (2019b). An architecture for distributed explorable HMD-based virtual reality environments. In L. Borzemski, J. Świątek, & Z. Wilimowska (Eds.), Information systems architecture and technology: Proceedings of 40th anniversary international conference on information systems architecture and technology – isat 2019; advances in intelligent systems and computing (Vol. 1050, p. 38-47). Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30440-9_5.

Flotyński, J., Krzyszkowski, M., & Walczak, K. (2017). Semantic Composition of 3D Content Behavior for Explorable Virtual Reality Applications. In Proceedings of EuroVR 2017, Lecture Notes in Computer Science (p. 3-23). Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-72323-5_1.

Flotyński, J., Krzyszkowski, M., & Walczak, K. (2018). Query-based composition of animations for 3D web applications. In Web3d ’18; proceedings of the 23rd international ACM conference on 3D web technology, Poznań, Poland — June 20 - 22, 2018, (p. Article No 15). ACM Digital Library. DOI: 10.1145/3208806.3208828.

Flotyński, J., Malamos, A. G., Brutzman, D., Hamza-Lup, F. G., Polys, N. F., Sikos, L. F., & Walczak, K. (2020b). Recent advances in Web3D semantic modeling. In Recent advances in 3D imaging, modeling, and reconstruction (p. 23-49). IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-5225-5294-9.

Flotyński, J., Nowak, A., & Walczak, K. (2018b). Explorable Representation of Interaction in VR/AR Environments. In Proceedings of avr 2018, lecture notes in computer science (p. 589-609). Springer International Publishing.

Flotyński, J., Strugała, D., Walczak, K., Englert, A., Maik, M., Nowak, A., & Jenek, T. (2019f). An Immersive Service Guide for Home Appliances. In 2018 ieee 8th international conference on consumer electronics - berlin (icce-berlin) (p. 370-375). IEEE Xplore.

Flotyński, J., Walczak, K., & Krzyszkowski, M. (2020). Composing customized Web 3D animations with semantic queries. Graphical Models, 107, January 2020, Article Number: 101052. doi: 10.1016/j.gmod.2019.101052.

Fransen, M. L., Verlegh, P. W., Kirmani, A., & Smit, E. G. (2015). A typology of consumer strategies for resisting advertising, and a review of mechanisms for countering them. International Journal of Advertising, 34(1), 6–16.

J. P. Gownder, C. Voce, M. Mai, D. Lynch. (2016). Breakout Vendors: Virtual And Augmented Reality. https://www.forrester.com/report/Breakout+Vendors+Virtual+And+Augmented+Reality/-/ERES134187.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In Telemanipulator and telepresence technologies (Vol. 2351, pp. 282–292).

Open-Link. (2020). Virtuoso Open-Source Edition. http://vos.openlinksw.com/owiki/wiki/VOS.

Parr, T. (2014). ANTLR. https://www.antlr.org/.

Pool, J. (2017). C#Prolog – a prolog interpreter written in managed c#. https://sourceforge.net/projects/cs-prolog/.

Poznań University of Economics and Business (PUEB). (2018a). Wirtualny salon samochodowy https://www.youtube.com/watch?v=qdM10ErmsXQ.

Poznań University of Economics and Business (PUEB). (2018b). Kompozycja zachowania. https://www.youtube.com/watch?v=k-EWcTYh49A.

Poznań University of Economics and Business (PUEB). (2018c). Projektowanie przestrzenne. https://www.youtube.com/watch?v=YVPjanNo_Ws.

Poznań University of Economics and Business (PUEB). (2018d). Wirtualny sklep. https://www.youtube.com/watch?v=zrxa5kxDWVY.

Semiodesk GmbH. (2015). Semiodesk Trinity. https://bitbucket.org/semiodesk/trinity/.

SharpCrafters. (2020). PostSharp. https://www.postsharp.net/.

Trellet, M., Férey, N., Flotyński, J., Baaden, M., Bourdot, P. (2018). Semantics for an Integrative and Immersive Pipeline Combining Visualization and Analysis of Molecular Data, in: Journal of Integrative Bioinformatics, vol. 15 (2), issue Special Issue: From Virtual Reality to Immersive Analytics, DE GRUYTER, 2018, pp. 1-19.

W3C. (2012). OWL 2 Web Ontology Language Structural Specification and Functional-Style Syntax (Second Edition). https://www.w3.org/TR/owl2-syntax/.

W3C. (2013). SPARQL 1.1 Query Language. https://www.w3.org/TR/sparql11-query/.

W3C. (2013b). RDF 1.1 JSON Alternate Serialization (RDF/JSON). https://www.w3.org/TR/rdf-json/.

W3C. (2014a). RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax. https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/.

W3C. (2014b). RDF Schema 1.1. https://www.w3.org/TR/rdf-schema/.

W3C. (2020a). JSON-LD 1.1 – A JSON-based Serialization for Linked Data. https://www.w3.org/TR/json-ld/.

Walczak, K., & Flotyński, J. (2019e). Inference-based creation of synthetic 3D content with ontologies. Multimedia Tools and Applications, 78, 9, 12607-12638. https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-018-6788-5, doi: 10.1007/s11042-018-6788-5.

Walczak, K., Flotyński, J., & Strugała, D. (2019d). Semantic Contextual Personalization of Virtual Stores. In L. T. de Paolis & P. Bourdot (Eds.), Augmented reality, virtual reality, and computer graphics. AVR 2019. lecture notes in computer science (Vol. 11613, p. 220-236). Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-25965-5_17.

Walczak, K., Flotyński, J., Strugała, D., Rumiński, D., Maik, M., Englert, A., & Jenek, T. (2019f). Virtual and augmented reality for configuring, promoting and servicing household appliances. In T. J., C. O., M. J., & P. I. (Eds.), Advances in manufacturing ii. lecture notes in mechanical engineering (p. 368-380). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-18715-6_31.

Walczak, K., Flotyński, J., Strugała, D., Strykowski, S., Sobociński, P., Gałązkiewicz, A., Wojciechowski, R., Górski, F., Bun, P., Zawadzki, P. (2020). Semantic Modeling of Virtual Reality Training Scenarios, in: Virtual Reality and Augmented Reality 17th EuroVR International Conference, EuroVR 2020, Valencia, Spain, November 25-27, 2020, Proceedings; in: Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2020.

Web3D. (2020). Getting Started with X3D. http://www.web3d.org/getting-started-x3d.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Okres po uzyskaniu stopnia doktora (2016-2020)

1) **Miejsce**: Naval Postgraduate School in Monterey, Kalifornia, Stany Zjednoczone; **Okres**: 08-22.06.2019; Finansowanie: środki UEP na wsparcie działalności naukowej młodych naukowców i doktorantów; **Zadania**: opracowanie systemu i ontologii dla semantycznych reprezentacji interaktywnych treści X3D.

   Miejsce: Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, Stany Zjednoczone; **Okres**: 02-06.06.2019; Finansowanie: program NAWA PROM; **Zadania**: przygotowanie warsztatów nt. semantycznych rozszerzeń standardu X3D na konferencję The 24th International ACM Conference on 3D Web Technology (July 26-28, 2019, Los Angeles, CA, USA).

   Obie wizyty naukowe odbyły się w ramach współpracy w grupie roboczej X3D Semantic Web Working Group w ramach Web3D Consortium (https://www.web3d.org/working-groups/x3d-semantic-web), której jestem współprzewodniczącym. Grupa oficjalnie została założona na początku 2019 r. Wcześniej – od roku 2018 – działała nieoficjalnie. Do grupy roboczej obecnie należy kilkanaście osób. Większość członków to osoby związane z Web3D Consortium. Wspólnie z prof. Donem Brutzmanem z Naval Postgraduate School koordynuję pracę tej grupy. Nasza rola polega na organizowaniu spotkań, które odbywają się raz w tygodniu, prowadzeniu dyskusji oraz kierowaniu pracami nad implementacją przyjętych rozwiązań. Dotychczasowe efekty pracy grupy są dostępne pod adresem:

   https://www.web3d.org/x3d/content/semantics/semantics.html

   i obejmują:

   a. Ontologię: X3D Ontology, https://www.web3d.org/x3d/content/semantics/ontologies/X3dOntology4.0.ttl

      Opracowanie metody transformacji standardu X3D do Ontologii X3D rozpoczęło się w trakcie mojej wizyty Naval Postgraduate School w Monterey. Zadanie to jest realizowane cały czas. Prace polegają na analizowaniu i optymalizowaniu wygenerowanej ontologii pod względem jej złożoności mierzonej liczbą klas i właściwości. Nowe elementy intensywnie rozwijanego standardu X3D wymagają weryfikacji działania po transformacji do postaci ontologii.

   b. Tutorial: *X3D Ontology for Semantic Web Query of 3D Models and Metadata,* Jakub Flotyński and Don Brutzman, Web3D 2020 Conference, Seoul Korea, 9-13 November 2020.

      Tutorial przygotowałem wspólnie z prof. Donem Brutzmanem. Tutorial przedstawiał dotychczasowe osiągnięcia grupy roboczej z podkreśleniem prac dotyczących semantycznych zapytań do Ontologii X3D oraz baz wiedzy X3D reprezentujących konkretne obiekty i sceny 3D. Moje zadania dotyczące przygotowania tutorialu obejmowały również prowadzenie dyskusji na sesji, na której tutorial był prezentowany.

c. Artykuł i prezentację konferencyjną: *X3D Ontology for Querying 3D Models on the Semantic Web*, Don Brutzman and Jakub Flotyński, Web3D 2020 Conference, Seoul Korea, 9-13 November 2020.

   Artykuł i prezentację przygotowałem wspólnie z prof. Donem Brutzmanem. Przedstawiały one koncepcję i implementację semantycznych zapytań do Ontologii X3D oraz baz wiedzy X3D reprezentujących konkretne obiekty i sceny 3D.

d. Prezentację konferencyjną: *Semantic Web3D: Towards comprehensive representation of 3D content on the Semantic Web* presented by Christophe Mouton, with co-authors Don Brutzman, John Carlson, Jakub Flotyński, Felix Hamza-Lup , Athanasios Malamos, Christophe Mouton, Marc Petit, Nicholas Polys, Leslie Sikos, and Krzysztof Walczak, zaprezentowano na konferencji Semantic Web Pro (SemWeb.Pro) in Paris France, 3 December 2019.

   Prezentacja powstała pod moim kierunkiem, ale ze względu na miejsce prezentacji, została wygłoszona przez dra Christopha Moutona (Électricité de France), który jest członkiem grupy roboczej. W prezentacji przedstawiono szeroko ujętą koncepcję podejścia semantycznego Web3D, którego jestem głównym autorem.

e. Artykuł i prezentację konferencyjną: *Semantic Web3D: Towards Comprehensive Representation of 3D Content on the Semantic Web* by Jakub Flotyński, Don Brutzman, Felix G. Hamza-Lup, Athanasios Malamos, Nicholas Polys, Leslie F. Sikos, and Krzysztof Walczak; zaprezentowano na konferencji International Conference on 3D Immersion (IC3D) in Brussels Belgium, 11 December 2019.

   Artykuł powstał z mojej inicjatywy przy wsparciu ze strony członków grupy roboczej, których prace koordynowałem. Artykuł przedstawia szeroko ujętą koncepcję podejścia semantycznego Web3D, którego jestem głównym autorem. W publikacji określono szeroki zakres planowanych prac grupy z położeniem nacisku na Ontologię X3D oraz metodę generowania ontologii, co stanowi obecnie fundament rozwiązań opracowywanych przez grupę.

f. Warsztaty: *Workshop on Semantic 3D Content*, Don Brutzman, Jakub Flotyński, Athanasios Malamos, Jamie Wittenberg, The 24th International ACM Conference on 3D Web Technology (Web3D 2019), Los Angeles July 26 – July 28.

   Przygotowanie warsztatów koordynowałem wspólnie z prof. Donem Brutzmanem przy udziale pozostałych członków grupy. Prace polegały na przygotowaniu prezentacji efektów działalności grupy, wytypowaniu potencjalnych uczestników prowadzących prace w podobnej dziedzinie, konsultacji tematyki prezentacji zaproszonych panelistów oraz prowadzeniu warsztatów i dyskusji.

g. Warsztaty: *Workshop on Semantic 3D*, Jakub Flotyński, Leslie F. Sikos, Martin Fischbach, Johannes Behr and Patrick Bourdot, The 23rd International ACM Conference on 3D Web Technology, 20-22 June 2018, Poznań, Poland.

   Przygotowanie warsztatów koordynowałem wspólnie z prof. Krzysztofem Walczakiem z Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu oraz prof. Donem Brutzmanem z Naval

Postgraduate School. Moje zadania polegały na wytypowaniu potencjalnych panelistów, zaproszeniu ich, ustaleniu zakresu prezentacji oraz prowadzeniu warsztatów i dyskusji.

h. W ramach wizyty w Naval Postgraduate School konsultowałem również pracę doktoranta nt. synchronizacji prezentacji treści 3D w rozproszonych systemach XR służących do symulacji wojskowych.

2) **Miejsce**: University of Bremen, Department for Computer Science, Computer Graphics Group, Bremen, Niemcy; **Okres**: 26.02.2018-23.03.2018; Finansowanie: Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD); **Zadania**:

a. Opracowanie metody semantycznej reprezentacji animacji interaktywnych treści 3D stanowiącej podstawę reprezentacji czasowych właściwości 3D przy użyciu reguł.

b. Współpraca nad organizacją konferencji naukowej The 23rd International ACM Conference on 3D Web Technology (Web3D 2018), 20-22 June 2018, Poznań, Poland.

c. Opieka nad studentem piszącym pracę doktorską nt. środowiska VR symulującego działanie algorytmu automatycznie sterującego właściwościami lamp nad stołem chirurgicznym w trakcie operacji. Konsultowałem pracę doktoranta w zakresie możliwego wykorzystania semantycznych opisów w postaci ontologii i baz wiedzy w celu opisu właściwości lamp w sposób dogodny dla przetwarzania przez algorytm.

3) **Miejsce**: Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (LIMSI/CNRS) at the University Paris-Sud, Paryż, Francja; **Okres**: 24.10.2017-17.11.2017; Finansowanie: Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu; **Zadania**:

a. Opracowanie semantycznych technik interakcji wielomodalnych w zanurzeniowych wielożytkownikowych systemach wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości.

b. Przygotowanie i publikacja artykułu w czasopiśmie: Trellet, M., Férey, N., Flotyński, J. (szacowany udział 15%), Baaden, M., Bourdot, P., *Semantics for an Integrative and Immersive Pipeline Combining Visualization and Analysis of Molecular Data*, in: Journal of Integrative Bioinformatics, vol. 15 (2), issue Special Issue: From Virtual Reality to Immersive Analytics, De Gruyter, 2018, pp. 1-19.

c. Współpraca nad przygotowaniem *Workshop on Semantic 3D*, Jakub Flotyński, Leslie F. Sikos, Martin Fischbach, Johannes Behr and Patrick Bourdot, The 23rd International ACM Conference on 3D Web Technology, 20-22 June 2018, Poznań, Poland. Koordynowałem prace związane z przygotowaniem wspólnych warsztatów, na których zaplanowano, m.in., wystąpienia przedstawicieli zespołu ośrodków LIMSI/CNRS oraz Katedry Technologii Informacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. Prace obejmowały ustalenie zakresu oraz czasu trwania prezentacji.

d. Przygotowanie wspólnej specjalności *Semantic representation of multimodal interaction in VR/AR environments* dla studentów University Paris-Sud realizowanej przez LIMSI/CNRS oraz Katedrę Technologii Informacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. Wspólnie z

dr. Nicolasem Férey koordynowałem przygotowanie programu i prezentacji wspólnej specjalności.

e. W ramach wizyty naukowej konsultowałem również prace studentów w zakresie tworzenia środowisk typu CAD służących do modelowania treści za pomocą zanurzeniowego sprzętu VR – ściany projekcyjnej do wizualizacji stereo treści 3D oraz manipulatorów z sześcioma stopniami swobody.

4) **Miejsce**: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart, Niemcy; **Okres**: 04.04.2016-08.07.2016; Finansowanie: NCN Etiuda. **Zadania**:

   a. Opracowanie metod i narzędzi semantycznego zanurzeniowego modelowania interaktywnych treści 3D za pomocą zaawansowanego sprzętu wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości.

   b. Przygotowanie raportu końcowego projektu *Semantyczne modelowanie interaktywnych treści 3D*, finansowanego przez NCN w ramach programu Etiuda.

5) Działalność w konsorcjum projektowym złożonym z Politechniki Poznańskiej oraz Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu prowadzącym prace na zlecenie Enea Operator Sp. z o. o. w ramach projektu NCBR „Elastyczny system zwiększania kompetencji pracowników służb technicznych z zastosowaniem technik rzeczywistości wirtualnej". Projekt jest realizowany od 2019 r. W ramach projektu kieruję pracami zespołu zajmującego się opracowaniem semantycznego edytora scenariuszy szkoleniowych dla operatorów elektryków pracujących z urządzeniami i instalacjami wysokich napięć. Utworzony i zarządzany przeze mnie zespół liczy 5 osób i obejmuje pracowników oraz studentów Katedry Technologii Informacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. Opracowany przez zespół semantyczny edytor scenariuszy to przyjazna dla elektryków aplikacja bazująca na środowisku MS Excel oraz technologiach Windows Presentation Foundation i MS SQL Server. Szkoleniowcy elektrycy modelują za jej pomocą przebieg scenariuszy treningowych dla początkujących operatorów systemów. Scenariusze są realizowane na wirtualnym poligonie i obejmują zadania, które w rzeczywistości są niebezpieczne dla życia oraz zdrowia operatorów. Scenariusze są modelowane w zakresie zadań oraz czynności do wykonania, wykorzystywanego sprzętu, i narzędzi, błędów możliwych do popełnienia przez kursantów oraz potencjalnych problemów sprzętowych, które mogą się pojawić. Zespół opracowywał również 2 ekspertyzy dotyczące metod i narzędzi tworzenia systemów szkoleniowych w wirtualnej rzeczywistości.

6) Nawiązanie współpracy w ramach programu Erasmus z ośrodkami: Georgia Southern University, Savannah, GA, USA oraz The Multimedia Content Laboratory of the Department of Electrical and Computer Engineering, Hellenic Mediterranean University, Heraklion, Greece. Wspólnie z prof. Felixem Hamza-Lup z Georgia Southern University, Savannah, US przygotowałem wniosek o sfinansowanie wymiany pracowników i studentów między uniwersytetami. Wniosek został zaakceptowany, dzięki czemu będzie możliwe nawiązanie szerszej współpracy w zakresie technologii 3D oraz rozszerzonej rzeczywistości.

Okres przed uzyskaniem stopnia doktora (2015)

Miejsce: Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Darmstadt, Niemcy; **Okres**: 01.07.2015-31.07.2015; Finansowanie: Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD); **Zadania**: Opracowanie koncepcji metody i implementacja środowiska umożliwiającego transkodowanie semantycznych reprezentacji interaktywnych treści 3D.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Działalność dydaktyczna:

1) Opracowanie nowych materiałów dydaktycznych do przedmiotów:
   a. *Projektowanie aplikacji multimedialnych*, kierunek Informatyka i Ekonometria, studia II stopnia, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
   b. *Ontologies and Semantic Web*, kierunek Informatyka i Ekonometria, studia II stopnia, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
   c. *Business Intelligence*, kierunek Informatyka i Ekonometria, studia II stopnia, Innovation Management (studia międzynarodowe), studia II stopnia, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
2) Uczestnictwo w szkoleniu pt. „*Effective Lecturing Skills in English*" na Regent's University London, Londyn, Wielka Brytania, 19-25.05.2019.
3) Uczestnictwo w szkoleniu dot. umiejętności miękkich i współpracy nauki z biznesem na Ivey Business School at Western University, London, Kanada, 07.09.2015-18.09.2015, grant MNiSW.
4) Uczestnictwo w szkoleniach pt. *„Matlab w zastosowaniach finansowych" oraz „Techniki przetwarzania i wizualizacji danych w Matlabie"*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, 2016.
5) Opieka nad studenckim kołem naukowym *Akademickie Koło Aplikacji Internetowych*, od 2019 roku. W ramach koła naukowego jestem mentorem dla grupy 14 studentów i doktorantów zajmujących się projektowaniem i implementacją środowisk XR. Koło naukowe działa przy Laboratorium wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. Ma zatem dostęp do najnowszego sprzętu i oprogramowania XR. W 2019 roku przedstawiciele koła uczestniczyli w międzynarodowej konferencji EuroVR w Tallinie w Estonii, na której prezentowali środowisko XR do zanurzeniowej prezentacji sprzętów gospodarstwa domowego. Koło naukowe wykazało się licznymi inicjatywami prowadząc 39 seminariów i warsztatów w latach 2019-2020. Członkowie koła uczestniczyli również w konferencjach Digital Dragons oraz Game Industry Conference w 2019 i 2020 roku. Koło naukowe przeszło do finału konkursu Student Talent Show na projekty gier edukacyjnych na konferencji Digital Dragons, która odbyła się w Krakowie 27.05.2019 r. Członkowie koła są również współautorami 8 publikacji, w tym w czasopismach oraz w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych ujętych na listach MNiSW.

6) Wypromowanie 14 prac licencjackich od 2017 roku, w tym jednej pracy dwuosobowej. Tematyka prac była związana z systemami multimedialnymi, w szczególności środowiskami XR.

7) Opieka nad pracą magisterską realizowaną na Uniwersytecie Adama Mickiewicza w Poznaniu, dotyczącą badania wpływu korzystania z urządzeń nagłownych VR na parametry i proces widzenia.

Działalność organizacyjna:

1) Członek Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Informatyki i Gospodarki Elektronicznej, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, czerwiec – sierpień 2018.

2) Członek Komisji ds. Parametryzacji Wydziału Informatyki i Gospodarki Elektronicznej, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, marzec – listopad 2017.

Działalność popularyzująca naukę:

1) Współorganizacja 4 edycji *Nocy Naukowców* w Laboratorium wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 09.2016 – 09.2019.

2) Współorganizacja 5 edycji *Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki* w Laboratorium wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 04.2017 – 11.2019.

3) Wystąpienie pt. *Wirtualna i wzbogacona rzeczywistość,* Gimnazjum im. Ignacego Jana Paderewskiego w Skórzewie, 18.02.2019.

4) Współorganizacja międzynarodowego konkursu programistycznego w dziedzinie wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości VR Hackathon 2018, Poznań, 17-19 czerwca 2018 na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu.

5) Wystąpienie pt. *Wirtualna i wzbogacona rzeczywistość - treść, urządzenia i zastosowania,* I Liceum Ogólnokształcące w Swarzędzu, 18.01.2018.

6) Wystąpienie pt. *Wirtualna i wzbogacona rzeczywistość* dla uczniów liceów w ramach programu *Klasa patronacka*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, 11.01.2018.

7) Organizacja staży studenckich w pracowni wirtualnej i wzbogaconej rzeczywistości Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2017-2018. W ciągu dwóch lat trwania staży prowadziłem prace 6 studentów studiów licencjackich. Studenci implementowali elementy systemów rozszerzonej rzeczywistości, takich jak: edytor scen treningowych dla szkolenia operatorów systemów elektrycznych (we współpracy z Enea Operator sp. z o.o.), eksplorowalny wirtualny salon samochodowy, eksplorowalny wirtualny przewodnik serwisanta sprzętu domowego, kompozytor eksplorowalnych choreografii oraz środowisko eksplorowalnego projektowania przestrzennego. Moja rola w realizacji staży polegała przede wszystkim na opracowywaniu architektury środowisk XR oraz mentorowaniu rozwiązań przyjmowanych przez studentów w trakcie implementacji tych środowisk.

7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej.

Stypendia, nagrody i wyróżnienia po uzyskaniu stopnia doktora:

1) Wyróżnienie *Scientific Paper Honorary Mention Award* za artykuł

   Walczak, K., Flotyński, J., Strugała, D., Strykowski, S., Sobociński, P., Gałązkiewicz, A., Wojciechowski, R., Górski, F., Bun, P., Zawadzki, P., Wielgus, M., *Semantic Modeling of Virtual Reality Training Scenarios*, in: Virtual Reality and Augmented Reality 17th EuroVR International, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2020

   zaprezentowany na konferencji 17th EuroVR International Conference, Valencia, Spain, November 25-27, 2020.

2) *Stypendium z funduszu własnego Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu* za osiągnięcia naukowe, 2020.

3) Finalista 17. edycji *Nagród Naukowych Polityki*, 22.10.2017.

4) *Nagroda Indywidualna II stopnia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego* za wybitne osiągnięcia naukowe będące podstawą nadania stopnia naukowego doktora z wyróżnieniem, 9.12.2016.

5) *Stypendium Naukowe Miasta Poznania* za wybitne osiągnięcia naukowe potwierdzone wyróżnioną rozprawą doktorską, licznymi wysoko punktowanymi publikacjami oraz wdrożeniem opracowanego rozwiązania w praktyce gospodarczej, 18.10.2016.

6) Laureat I etapu Konkursu o *Nagrodę ABB* na innowacyjne prace magisterskie, inżynierskie oraz doktorskie – Edycja 2016/2017.

7) 4 *Nagrody Rektora Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu* za wyróżniające osiągnięcia naukowe potwierdzone publikacjami w wysoko punktowanych czasopismach naukowych, 2016-2019.

Stypendia, nagrody i wyróżnienia przed uzyskaniem stopnia doktora:

1) *Nagroda Rektora Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu* za wyróżniające osiągnięcia naukowe potwierdzone publikacjami w wysoko punktowanych czasopismach naukowych, 2015.

2) Wyróżnienie Dziekana Wydziału Informatyki i Gospodarki Elektronicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu za osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne, 09.10.2015.

3) Wyróżnienie rozprawy doktorskiej, Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, 15.12.2015.

4) Nagrody za najlepszy artykuł (Best Paper Award)

   a. K. Walczak, J. Flotyński, *Semantic Query-based Generation of Customized 3D Scenes*, The 20th International Conference on 3D Web Technology, June 18-21, 2015, Heraklion (Greece).

b. J. Flotyński, *Harvesting of Semantic Metadata from Distributed 3D Web Content*, 6th International Conference on Human-System Interaction (HSI), June 06-08, 2013, Sopot (Poland).

c. Wójtowicz, A., J. Flotyński, D. Rumiński, K. Walczak, *Securing Learning Services Accessible with Adaptable User Interfaces*, The 32nd International Conference Information Systems Architecture and Technology, September 18-20, 2011, Szklarska Poręba (Poland).

5) Wyróżnienie za pracę magisterską *Wireless Mesh Network Testbed with a Deterministic Medium Access*, Politechnika Poznańska, Wydział Elektroniki i Telekomunikacji, 30.09.2011.

6) Ukończenie z wyróżnieniem studiów:

a. Magisterskich dziennych na Wydziale Informatyki i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, 2010.

b. Magisterskich dziennych na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej, 2011.

7) Stypendia Dziekanów Wydziałów Informatyki i Zarządzania oraz Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej przyznawane studentom z najlepszymi wynikami, 2006 – 2011.

8) I miejsce w konkursie projektowania inteligentnych systemów rozpoznawania podpisów, Politechnika Poznańska, 2008.

Prowadzenie sesji na konferencjach naukowych (session chair):

1) The 5th International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality, Computer Graphics, AVR 2018; Otranto, Italy, June 24–27, 2018.

2) The International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises WETICE, June 21-23, 2017, Poznań, Poland.

3) The 22nd International Conference on Web3D Technology, Brisbane (Australia), June 5-7, 2017.

Jakub Flotyński